



Liberté • Égalité • Fraternité

RÉPUBLIQUE FRANÇAISE

PRÉFET DU CALVADOS

PLAN DE PREVENTION DES RISQUES LITTORAUX DE L'ESTUAIRE DE LA DIVES

**Communes de Cabourg, de Dives-sur-mer, de Périers-en-Auge et de
Varaville**



Note de présentation

**Direction Départementale
des Territoires et de la Mer du Calvados**

SOMMAIRE

I. PRÉAMBULE.....	9
I.1. Modalités de lecture du document.....	9
I.2. Les fondements de la politique de l'État en matière de risques naturels majeurs.....	10
I.2.1. Définition du <i>risque</i>	10
I.2.2. Les textes fondateurs.....	10
I.3. Les plans de prévention des risques naturels prévisibles.....	11
I.4. La responsabilité des acteurs en matière de prévention.....	13
I.4.1. La responsabilité de l'État.....	14
I.4.2. La responsabilité des Collectivités.....	14
I.4.3. La responsabilité du citoyen.....	15
I.4.4. La nature de la responsabilité.....	15
II. MOTIVATION ET ÉLABORATION DU PPRL.....	16
II.1. Pourquoi un PPRL sur l'estuaire de la Dives ?.....	16
II.2. Périmètre d'étude du PPRL.....	17
II.3. Prescription du PPRN.....	18
II.4. Élaboration du PPRL.....	19
II.5. Concertation.....	21
II.5.1. Le cadre réglementaire.....	21
II.5.2. Rôle essentiel de la concertation.....	21
II.5.3. Bilan de la concertation.....	21
II.6. Contenu du PPRL.....	22
II.7. Valeur juridique du PPRN.....	22
III. LE CONTEXTE TERRITORIAL.....	24
III.1. La population et l'habitat.....	24
IV. LES PHÉNOMÈNES NATURELS ET LES ALÉAS.....	26
IV.1. Concepts utilisés.....	26
IV.1.1. Notion de période de retour.....	27
IV.1.2. Notion d' <i>aléa</i>	28
IV.1.3. Phénomène et scénario de référence.....	28
IV.2. Les phénomènes historiques.....	29
IV.3. La submersion marine.....	33
IV.3.1. Caractérisation de la submersion marine.....	34
IV.3.1.1. Le niveau marin et les marées.....	35
IV.3.1.2. Les vents.....	38

a. Les vents régionaux.....	38
b. Vents locaux.....	40
c. Les vents au large.....	40
IV.3.2. Aléas de submersion marine.....	40
IV.3.2.1. Bathymétrie et topographie.....	41
IV.3.2.2. Niveau marin de référence.....	41
IV.3.2.3. Dimension temporelle de l'analyse.....	42
IV.3.2.4. apports fluviaux.....	42
IV.3.2.5. Prise en compte des ouvrages de protection et de leur défaillance.....	43
a. Définition des ouvrages de protection.....	43
b. Méthodologie.....	43
c. Effacement des ouvrages.....	44
d. Prise en compte de la formation de brèches.....	44
e. Défaillance des ouvrages hydrauliques annexes.....	45
f. Bandes de précaution.....	46
IV.3.2.6. Zones exposées aux chocs mécaniques.....	51
IV.3.2.7. Qualification de l'aléa de submersion marine.....	52
a. L'aléa pour le scénario de référence.....	53
b. L'aléa pour le scénario à échéance 100 ans.....	55
IV.4. L'érosion côtière.....	57
IV.4.1. La migration dunaire.....	57
IV.4.1.1. Contexte morphologique.....	57
IV.4.1.2. Caractérisation de l'aléa de migration dunaire.....	57
IV.4.2. L'érosion des côtes sableuses.....	58
IV.4.2.1. L'érosion moyenne à long terme.....	58
IV.4.2.2. L'érosion ponctuelle.....	58
V. LES ENJEUX.....	61
V.1. Définition.....	61
V.2. Les enjeux dans le PPRL.....	61
V.2.1. Typologie des enjeux.....	62
V.2.2. Prise en compte des personnes.....	62
V.2.3. Prise en compte des projets.....	63
V.2.4. Cartographie des enjeux.....	63
V.3. La vulnérabilité dans le PPRL.....	64
V.3.1. Typologie pour l'analyse de la vulnérabilité.....	65
V.3.2. Cartographie de la vulnérabilité.....	66
VI. ÉLABORATION DU ZONAGE RÉGLEMENTAIRE.....	67
VI.1. Principes généraux du zonage réglementaire.....	67
VI.2. Adaptations ponctuelles.....	68
VI.3. Principes du règlement des différentes zones du PPRL de l'estuaire de la Dives... 68	68
VII. BIBLIOGRAPHIE ET RÉFÉRENCES.....	71
VIII. ANNEXES.....	73

Index des illustrations

Figure 1 : La relation aléa, enjeu et risque.....	10
Figure 2 : Localisation des communes concernées par le PPRL de l'estuaire de l'Orne.....	17
Figure 3 : Synoptique de la procédure d'élaboration des PPRL.....	20
Figure 4 : Populations communales en 2015 (source : INSEE).....	24
Figure 5 : Évolution de la population des communes de l'estuaire de la Dives (source : INSEE)....	25
Figure 7 : Nombre d'évènement tempétueux répertoriés par décennies pour la zone comprise entre la Dives et le Bessin.....	31
Figure 6 : Nombre d'évènements tempétueux répertoriés par décennie pour la zone comprise entre la Dives et le Bessin.....	31
Figure 7 : Zones hydrodynamiques (Cartier, 2013).....	35
Figure 8 : Carte des niveaux extrêmes de pleine mer en Baie de Seine pour une période de retour de 100 ans (source : SHOM/CETMEF, 2012).....	36
Figure 9 : Niveaux de référence +20 cm d'élévation par section homogène, secteur Dives-Orne (conditions d'Ouest et du N-NE, valeurs supérieures et inférieures, surcote de houle exclue).....	38
Figure 10 : Comparaison de roses de vent sur le territoire de la Basse-Normandie (IFREMER & Météo France 2013).....	39
Figure 11 : Niveau marin pour le scénario de référence (trois cycles de marée).....	42
Figure 12 : Définition des hypothèses de brèches pour les digues.....	44
Figure 13 : Localisation des brèches et des ouvrages défaillants pris en compte.....	45
Figure 14: Localisation des bandes de précaution.....	51
Figure 15 : Définition de l'aléa de submersion marine.....	52
Figure 16 : Aléa de submersion pour le scénario de référence.....	54
Figure 17 : Aléa de submersion pour le scénario à échéance 100 ans.....	56
Figure 18 : Cartographie de l'aléa de recul du trait de côte à Varaville.....	60
Figure 19 : Cartographie de l'aléa de recul du trait de côte à Cabourg.....	60
Figure 20 : Extrait de la carte des enjeux de Cabourg et Dives-sur-Mer.....	64

Index des tableaux

Tableau 1 : Les communes concernées par le PPRN de l'estuaire de la Dives.....	17
Tableau 2 : Période de retour et probabilité d'occurrence.....	27
Tableau 3 : Caractéristiques des scénarios de référence.....	29
Tableau 4 : Évènements tempétueux recensés du début du XIXe au début du XXe siècle.....	31
Tableau 5 : Principales tempêtes répertoriées (1980 – 2017).....	32
Tableau 6 : Liste des arrêtés de reconnaissance de l'état de catastrophe naturelle (CATNAT).....	32
Tableau 7 : Niveaux de marée astronomique le long des côtes du Calvados.....	36
Tableau 8 : Niveaux marins extrêmes dans la zone étudiée.....	37
Tableau 9 : Niveaux marins du scénario de référence.....	41
Tableau 10 : Niveaux marins du scénario à échéance 100 ans.....	42
Tableau 11 : Hypothèses de modélisation des ouvrages hydrauliques annexes.....	46
Tableau 12 : Largeurs de la bande de précaution (BDP) pour le scénario de référence.....	49
Tableau 13 : Largeurs de la bande de précaution (BDP) pour le scénario à échéance 100 ans... ..	50
Tableau 14 : Détermination de la largeur des bandes de chocs mécaniques.....	52
<i>Tableau 15 : Érosion moyenne à long terme des côtes basses et meubles.....</i>	<i>58</i>
Tableau 16 : Érosion ponctuelle et érosion moyenne pour l'événement de référence.....	59
Tableau 17 : Détail de la typologie de l'occupation du sol pour la cartographie des enjeux.....	62
Tableau 18 : Détail de la typologie des sites vulnérables.....	65
Tableau 19 : Définition du zonage réglementaire en fonction de l'occupation du sol et de l'aléa... ..	67
Tableau 20 : Définition du zonage réglementaire dans l'emprise des bandes de précaution et de chocs mécaniques.....	68

Glossaire

Aléa	L'aléa traduit la fréquence et l'intensité d'un phénomène naturel en un lieu donné. Il est fréquemment évalué qualitativement par des degrés (faible, moyen, fort, très fort).
Anticyclone	Zone de forte pression atmosphérique.
Bathymétrie	Mesure de la profondeur des mers et des océans et, par extension, de toutes les zones immergées. Ce terme est utilisé pour décrire la morphologie de ces zones.
Champ de houle	Répartition spatiale des houles (directions et intensité) dans une zone géographique donnée.
Champ de vents	Répartition spatiale des vents (directions et intensité) dans une zone géographique donnée.
Choc mécanique	Choc des vagues qui peut exercer des pressions importantes contre les structures sans donner lieu à une inondation significative.
Clapot	Agitation de la surface de la mer sous l'action du vent.
Concomitance	Simultanéité de deux phénomènes ou événements.
Dorsale	Zone anticyclonique (de forte pression atmosphérique) allongée, prolongeant un <i>anticyclone</i> .
Enjeu	Ensemble des personnes, des biens, des activités, du patrimoine présent en un lieu donné. Cette notion est utilisée pour l'évaluation du risque.
Géomorphologie	Méthode d'analyse des formes du relief et des données historique visant à délimiter les zones exposées aux inondations et à identifier les principaux domaines fonctionnels du cours d'eau.
Intertidal	Espace côtier compris entre les limites extrêmes atteintes par la marée.
Marée	Variation du niveau de la mer due à l'action gravitationnelle de la Lune et du Soleil, astres dont les mouvements peuvent être calculés avec précision sur des périodes de plusieurs centaines, voire de plusieurs milliers d'années.
Marnage	Différence entre les niveaux d'une marée haute et d'une marée basse successives. Le marnage est une hauteur habituellement exprimée en mètres.
Mitigation	Concept d'adaptation des <i>enjeux</i> situés dans une zone exposée à un phénomène naturel pour limiter leur <i>vulnérabilité</i> et faciliter le retour à la normale en cas de survenance du phénomène.
Pleine mer astronomique	Cote marine de pleine mer (marée haute) liée à l'action de l'attraction de la Lune et du Soleil.
Reprofilage	Modification de la section d'un cours d'eau pour améliorer les conditions d'écoulement et augmenter sa capacité.
Risque	Le risque traduit la conjonction, en un même lieu, d'un aléa et d'un <i>enjeu</i> . Le risque est proportionnel à l'aléa et à l'importance de l' <i>enjeu</i> concerné.
Ruine généralisée	Destruction (ruine) complète d'un ouvrage ou d'un ensemble d'ouvrages de protection.
Set-up de houle	Surélévation du niveau marin induite par la dissipation de l'énergie de la houle déferlant sur le rivage (<i>wave set-up</i> ou <i>surcote</i> de houle).
Surcote atmosphérique	Élévation du niveau marin liée à une faible pression atmosphérique.
protection	Déversement d'eau au-dessus de la berge ou d'un ouvrage.
Système de protection	Éléments naturels ou anthropiques qui protègent de la mer une zone située sous le niveau marin.
Vulnérabilité	Dans le contexte des PPRN (Plan de prévention des risques naturels prévisibles), la vulnérabilité correspond à la sensibilité d'un <i>enjeu</i> (construction, activité, etc.) à un phénomène donné.

Liste des sigles et abréviations

BCM	Bande de <i>chocs mécaniques</i>
BDP	Bande de précaution
CATNAT	Catastrophe naturelle
CGCT	Code général des collectivités territoriales
CREC	Centre de recherches en environnement côtier
DDRM	Dossier départemental des risques majeurs
DICRIM	Dossier d'information communal sur les risques majeurs
EPCI	Établissement public de coopération intercommunale
ERP	Etablissement recevant du public
GIEC	Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat
IAL	Information des acquéreurs et locataires
IGN	Institut national de l'information géographique et forestière
INSEE	Institut national de la statistique économique
NGF	Nivellement général de la France
ORSEC	Organisation de la réponse de la Sécurité Civile
PAC	Porter à connaissance
PCS	Plan communal de sauvegarde
PLU	Plan local d'urbanisme
POS	Plan d'occupation des sols
PPRI	Plan de prévention des risques naturels prévisibles d'inondation
PPRL	Plan de prévention des risques naturels prévisibles littoraux
PPRN	Plan de prévention des risques naturels prévisibles
REX	Retour d'expérience
SHOM	Service hydrographique et océanographique de la Marine
SUP	Servitude d'utilité publique
TRI	Territoire à risques d'inondation
ZNM	Zone sous le niveau marin

Plan de prévention des risques littoraux de l'estuaire de la Dives

Submersion marine et érosion

Note de présentation

I. Préambule

I.1. Modalités de lecture du document

Les termes figurant en *italique*, définis dans un glossaire et les sigles et abréviations utilisés sont explicités en début de rapport.

Les études techniques réalisées dans le cadre de l'élaboration du PPRL (Plan de prévention des risques littoraux) ne sont pas citées ici dans leur intégralité. Seules les informations essentielles ont été reprises et, si nécessaires, retranscrites sous une forme non technique. Ces études sont disponibles dans leur intégralité auprès de la DDTM du Calvados (Direction départementale des territoires et de la mer), du service instructeur du PPRL, des collectivités territoriales concernées et sur le portail internet des services de l'État dans le Calvados (www.calvados.gouv.fr).

Lorsque d'autres études ou documents techniques ont été exploités et cités, des numéros entre crochets [x] renvoient aux références bibliographiques récapitulées en page 71.

I.2. Les fondements de la politique de l'État en matière de risques naturels majeurs

I.2.1. Définition du risque

Le *risque* est la rencontre d'un phénomène aléatoire (ou « *aléa* », en l'occurrence la submersion marine ou l'érosion côtière) et d'un *enjeu* (vies humaines, biens matériels, activités, patrimoines) exposé à ce phénomène naturel aléatoire.

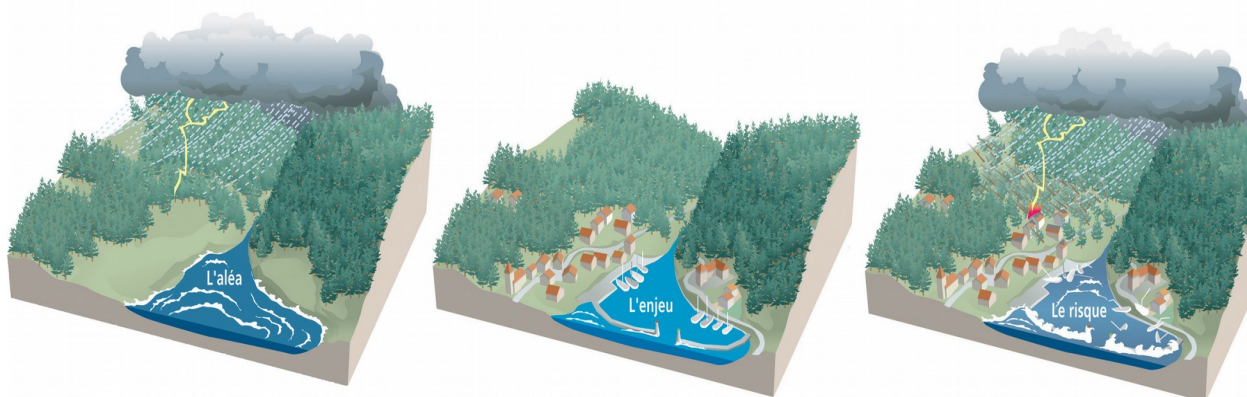


Figure 1 : La relation aléa, enjeu et risque.

Un *risque* est considéré comme « *risque majeur* » lorsque sa fréquence est faible et que ses conséquences sont extrêmement graves, avec de nombreuses victimes et des dommages importants aux biens et à l'environnement.

I.2.2. Les textes fondateurs

Quatre lois ont organisé la sécurité civile et la prévention des *risques* majeurs :

- la loi du 13 juillet 1982 modifiée, relative à l'indemnisation des victimes de catastrophes naturelles ;
- la loi du 22 juillet 1987 relative à l'organisation de la sécurité civile, à la protection de la forêt contre l'incendie et à la prévention des *risques* majeurs ;
- la loi du 2 février 1995 dite « loi Barnier » relative au renforcement de la protection de l'environnement ;
- la loi du 30 juillet 2003, relative à la prévention des *risques* technologiques et naturels et à la réparation des dommages.

La politique de l'État en matière de gestion des *risques* naturels majeurs a pour objectif d'assurer la sécurité des personnes et des biens dans les territoires exposés à ces *risques*. Elle repose sur quatre principes : la protection, la prévention, la gestion de crise et l'information préventive.

- La *protection* vise à limiter les conséquences du phénomène naturel sur les personnes et les biens. Il s'agit alors de travaux de réduction de la *vulnérabilité*. Cet aspect est limité par son coût et par l'étendue du territoire à traiter, et ne sera donc mis en place que pour des *enjeux* déjà exposés et réellement importants. Ces travaux n'annulent cependant pas le *risque* et ils ne doivent pas avoir pour conséquence d'inciter à urbaniser davantage les espaces ainsi protégés.
- La *prévention* vise à limiter les *enjeux* dans les zones soumises au phénomène naturel et à ne pas aggraver l'*aléa*. Elle repose sur la connaissance des phénomènes physiques et sur la prise en compte du *risque* dans l'aménagement du territoire, à travers l'élaboration de plans de prévention et la réalisation de travaux spécifiques. Il s'agit de prendre en compte le *risque* pour ne pas exposer de nouveaux biens et de ne pas aggraver les *risques*.
- La *gestion de crise* a pour objectif de rendre les secours, l'évacuation et la gestion des phénomènes aussi efficaces que possible dès lors que le phénomène se déclenche. Cela passe par la mise en place de procédures d'alerte pour réduire les conséquences de la catastrophe par des mesures temporaires (évacuation, mise en sécurité des biens, etc.), ainsi que par la préparation de la gestion de la catastrophe et l'organisation prévisionnelle des secours (plan ORSEC « Organisation de la Réponse de Sécurité Civile »). Le retour d'expérience (REX) permet de tirer les enseignements des catastrophes et d'améliorer les procédures de gestion de crise.
- L'*information préventive* a pour objectif d'informer et de responsabiliser le citoyen. Chaque citoyen a droit à une information sur les *risques* auxquels il est exposé et sur les mesures de sauvegarde mises en œuvre ou susceptibles de l'être, par les différents acteurs, dont lui-même (articles L.125-2, L.125-5, L.563-3 et R.129-9 à R.126-27 du Code de l'Environnement). Cette information est donnée notamment au travers du dossier départemental des *risques* majeurs (DDRM) et du dossier d'information communal sur les *risques* majeurs (DICRIM).

En outre, l'article L.125-5 du code de l'environnement impose l'information de l'acheteur ou du locataire de tout bien immobilier (bâti et non bâti) situé dans un plan de prévention des *risques* prescrit ou approuvé. Cette information, dite information des acquéreurs et locataires (IAL), est faite par un état des *risques* naturels et technologiques, établi directement par le vendeur ou le bailleur à partir des informations mises à disposition par le Préfet du département.

1.3. Les plans de prévention des risques naturels prévisibles

Le plan de prévention des *risques* naturels (PPRN) est un document qui régit l'aménagement du territoire et les activités dans des espaces soumis à un *risque* naturel. Le PPRL est un PPRN relatif aux *risques* littoraux (submersion marine et évolution du trait de côte).

La loi du 22 juillet 1987 relative à l'organisation de la sécurité civile, à la protection de la forêt contre l'incendie et à la prévention des *risques* majeurs définit les plans de prévention des *risques* naturels prévisibles. Cette définition figure dans l'article 40-1, repris dans l'article 16-1 de la loi du 2 février 1995 et codifiés à l'article L 562-1 du Code de l'Environnement.

Art. L 562-1

« I. L'État élabore et met en application des plans de prévention des risques naturels prévisibles tels que les inondations, les mouvements de terrain, les avalanches, les incendies de forêt, les séismes, les éruptions volcaniques, les tempêtes ou les cyclones :

II. Ces plans ont pour objet, en tant que de besoin :

1. De délimiter les zones exposées aux risques, en tenant compte de la nature et de l'intensité du risque encouru, d'y interdire tout type de construction, d'ouvrage, d'aménagement ou d'exploitation agricole, forestière, artisanale, commerciale ou industrielle, notamment afin de ne pas aggraver le risque pour les vies humaines ou, dans le cas où des constructions, ouvrages, aménagements ou exploitations agricoles, forestières, artisanales, commerciales ou industrielles, pourraient y être autorisés, prescrire les conditions dans lesquelles ils doivent être réalisés, utilisés ou exploités.

2. De délimiter les zones qui ne sont pas directement exposées aux risques mais où des constructions, des ouvrages, des aménagements ou des exploitations agricoles, forestières, artisanales, commerciales ou industrielles pourraient aggraver des risques ou en provoquer de nouveaux et y prévoir des mesures d'interdiction ou des prescriptions telles que prévues au 1°.

3. De définir les mesures de prévention, de protection et de sauvegarde qui doivent être prises, dans les zones mentionnées au 1° et au 2°, par les collectivités publiques dans le cadre de leurs compétences, ainsi que celles qui peuvent incomber aux particuliers.

4. De définir, dans les zones mentionnées au 1° et au 2°, les mesures relatives à l'aménagement, l'utilisation ou l'exploitation des constructions, des ouvrages, des espaces mis en culture ou plantés existants à la date de l'approbation du plan qui doivent être prises par les propriétaires, exploitants ou utilisateurs.

III.-La réalisation des mesures prévues aux 3° et 4° du II peut être rendue obligatoire en fonction de la nature et de l'intensité du risque dans un délai de cinq ans, pouvant être réduit en cas d'urgence. A défaut de mise en conformité dans le délai prescrit, le préfet peut, après mise en demeure non suivie d'effet, ordonner la réalisation de ces mesures aux frais du propriétaire, de l'exploitant ou de l'utilisateur.

IV.-Les mesures de prévention prévues aux 3° et 4° du II, concernant les terrains boisés, lorsqu'elles imposent des règles de gestion et d'exploitation forestière ou la réalisation de travaux de prévention concernant les espaces boisés mis à la charge des propriétaires et exploitants forestiers, publics ou privés, sont prises conformément aux dispositions du titre II du livre III et du livre IV du code forestier.

V.-Les travaux de prévention imposés en application du 4° du II à des biens construits ou aménagés conformément aux dispositions du code de l'urbanisme avant l'approbation du plan et mis à la charge des propriétaires, exploitants ou utilisateurs ne peuvent porter que sur des aménagements limités.

VI. — Les plans de prévention des risques d'inondation sont compatibles ou rendus compatibles avec les dispositions du plan de gestion des risques d'inondation défini à l'article L. 566-7.

VII. — Des décrets en Conseil d'État définissent en tant que de besoin les modalités de qualification des aléas et des risques, les règles générales d'interdiction, de limitation et d'encadrement des constructions, de prescription de travaux de réduction de la vulnérabilité, ainsi que d'information des populations, dans les zones exposées aux risques définies par les plans de prévention des risques naturels prévisibles.

Les projets de décret sont soumis pour avis au conseil d'orientation pour la prévention des risques naturels majeurs.

Le PPRN est donc l'un des outils de la gestion des *risques*, qui vise à la fois l'information et la prévention. Ces principaux objectifs peuvent être récapitulés en quatre points principaux :

- d'identifier les zones de *risque* et le niveau de danger ;
- de ne pas aggraver le phénomène ;
- de ne plus y exposer de nouveaux biens ;
- de rendre moins vulnérables les biens qui y sont déjà exposés.

Suite à la tempête Xynthia, survenue en 2010, et à ses conséquences dramatiques sur le littoral atlantique, la circulaire du 27 juillet 2011 est venue compléter et préciser les règles applicables en matière de prise en compte du *risque* de submersion marine dans les PPRN relatifs aux *risques* littoraux. Parmi les apports majeurs de cette circulaire, on peut noter :

- la prise en compte des ouvrages de protection dans la dynamique de submersion ;
- la prise en compte des conséquences prévisibles à court et moyen termes du changement climatique mais également en anticipant ses conséquences à échéance 100 ans.

D'un point de vue juridique, le PPRN (et donc le PPRL) est une servitude d'utilité publique (SUP) annexée au plan local d'urbanisme (PLU). Il s'ajoute aux réglementations existantes et s'impose au règlement du PLU. Il ne peut pas constituer une justification à une non application d'une autre réglementation.

1.4. La responsabilité des acteurs en matière de prévention

Dans l'application de la politique de gestion des *risques* naturels majeurs, dont les grands principes ont été précédemment rappelés, il convient de distinguer trois niveaux de responsabilité des principaux acteurs concernés, sachant que certaines de ces responsabilités peuvent être partagées.

I.4.1. La responsabilité de l'État

La loi du 30 juillet 2003 dans son article codifié à l'article L.564-1 du Code de l'Environnement stipule que « l'organisation de la surveillance de la prévision et de la transmission de l'information sur les crues est assurée par l'État ».

Un des premiers rôles de l'État (Préfet) est donc celui de l'information des élus et des citoyens, notamment via le Dossier Départemental des *Risques* Majeurs (DDRM), la liste des arrêtés portant constatation de l'état de catastrophe naturelle, etc., mais également dans le cadre du Porter à Connaissance (PAC) des documents d'urbanisme.

Cette information nécessitera néanmoins une connaissance préalable du *risque* au travers d'analyses des phénomènes, des qualifications d'*aléas* (Atlas des zones Inondables, etc.). Ces données sont traduites dans un document réglementaire ayant valeur de servitude d'utilité publique : c'est le PPRN qui relève de la compétence de l'État et qui constitue la cheville ouvrière du dispositif de prévention.

L'État, en liaison avec les autres acteurs, assure par ailleurs la surveillance des phénomènes, l'alerte et l'organisation des plans de secours, lorsque le problème concerne plusieurs communes ou que l'événement entraîne le déclenchement d'un plan départemental de secours ou le plan ORSEC départemental.

Exceptionnellement, le recours aux procédures d'expropriation peut être nécessaire si le déplacement des populations dont la vie serait menacée par un péril imminent d'une particulière gravité se révèle être la seule solution à un coût acceptable.

I.4.2. La responsabilité des Collectivités

Comme l'État, les maires ou responsables de structures intercommunales ont un devoir d'information de leurs administrés à qui ils doivent faire connaître les *risques*, notamment grâce au DICRIM.

La loi du 30 juillet 2003 a renforcé le dispositif antérieur en précisant que « dans les communes sur le territoire desquelles a été prescrit ou approuvé un plan de prévention des *risques* naturels prévisibles, le maire informe la population au moins une fois tous les 2 ans, par des réunions publiques communales ou tout autre moyen approprié, sur les caractéristiques du ou des *risques* naturels connus dans la commune, les mesures de prévention et de sauvegarde possibles, les dispositions du plan, les modalités d'alerte, l'organisation des secours, les mesures prises par la commune pour gérer le *risque* ainsi que sur les garanties prévues de l'article L.125.1 du code des assurances ».

De plus, la loi relative à la modernisation de la sécurité civile du 13 août 2004 rend obligatoire l'élaboration d'un Plan Communal de Sauvegarde (PCS) dans les communes dotées d'un PPRN approuvé. Ce PCS regroupe l'ensemble des documents de compétence communale contribuant à la gestion de crise et à la protection des populations.

La maîtrise de l'occupation du sol et sa mise en cohérence avec les *risques* identifiés, à travers l'élaboration des PLU, font également partie de ce rôle de prévention. En outre, dans l'exercice de ses compétences en matière d'urbanisme, si celles-ci lui ont été transférées (Plan d'occupation des sols ou POS et PLU approuvés), le Maire conserve la possibilité de recourir à l'article R.111-2 du code de l'urbanisme relatif à la sécurité publique. Cet article dispose que « le projet peut être refusé ou n'être accepté que sous réserve de l'observation de prescriptions spéciales s'il est de nature à porter atteinte à la salubrité ou à la sécurité publique du fait de sa situation, de ses caractéristiques, de son importance, ou de son implantation à proximité d'autres installations ».

Les collectivités locales et territoriales peuvent aussi réaliser des travaux de protection des lieux habités et réduire ainsi la *vulnérabilité*, s'ils présentent un caractère d'intérêt général.

C'est le maire qui en premier lieu est le responsable de la gestion de crise (organisation et direction des secours) sur sa commune. Il tient le Préfet informé de son action. Si le phénomène dépasse le cadre communal, ou si les moyens de la commune ne suffisent pas, le Préfet prend la main. Il peut se substituer en cas de carence du maire.

Il est opportun de rappeler qu'en vertu du Code Général des Collectivités Territoriales (CGCT), le maire peut avoir l'obligation de prendre les mesures nécessaires afin de prévenir les atteintes à la sécurité publique résultant de *risques* naturels, dans l'exercice de ses pouvoirs ordinaires de police. L'État peut se substituer à lui en cas de carence.

I.4.3. La responsabilité du citoyen

Le citoyen qui a connaissance d'un *risque* a le devoir d'en informer le maire. Il a aussi le devoir de ne pas s'exposer sciemment à des *risques* naturels, en vérifiant notamment que les conditions de sécurité au regard de ces *risques* soient bien remplies, comme l'y incite le Code Civil.

C'est au propriétaire d'un terrain concerné par un *risque* que peut revenir la responsabilité des travaux de protection contre les *risques* des lieux habités.

Le citoyen propriétaire ou bailleur de biens immobiliers situés dans un PPRN a le devoir d'informer l'acheteur ou le locataire de l'existence des *risques* naturels et/ou technologiques auxquels ses biens sont exposés (IAL).

I.4.4. La nature de la responsabilité

Il convient de rappeler que la responsabilité des acteurs s'exerce dans les trois grands domaines du droit que sont :

- la responsabilité administrative ;
- la responsabilité civile ;
- la responsabilité pénale.

II. Motivation et élaboration du PPRL

II.1. Pourquoi un PPRL sur l'estuaire de la Dives ?

La tempête Xynthia du 28 février 2010 a durablement frappé la côte Atlantique. Elle a également, à une échelle bien moindre, occasionné de multiples dommages dans le Calvados, principalement dans la Communauté de Communes de l'Estuaire de la Dives (CCED).

Suite à cet évènement, le Gouvernement a adopté plusieurs mesures visant à une meilleure prévention des *risques* littoraux. Parmi ces mesures figure la nécessité de renforcer la couverture du territoire par des PPRL et d'en accélérer considérablement le déploiement. L'instruction du 2 août 2011 relative à la mise en œuvre des PPRL définit une liste des 303 communes pour lesquelles le déploiement de PPRL est jugé prioritaire. Cette liste a été établie au regard du *risque* constaté pour les vies humaines actuellement, ou qui pourrait s'y accroître significativement du fait d'une urbanisation non maîtrisée.

Elle tient notamment compte de la cartographie des zones sous le niveau marin (ZNM) établie en 2011 par la DREAL de Basse-Normandie et intègre les secteurs submergés en février 2010. Sur la base de cette liste, deux PPR littoraux prioritaires ont été prescrits fin 2011 dans le Calvados :

- le PPRL du « Bessin » : d'Arromanches-les-Bains à Bernières-sur-Mer (9 communes) ;
- le PPRL « Dives-Orne » de Hermanville-sur-Mer à Dives-sur-Mer (8 communes), révisé en 2016 et scindé en deux PPRL dont le PPRL-Estuaire de la Dives (4 communes)

La modélisation des différents phénomènes de submersion a montré que le périmètre du PPRL Dives-Orne est inadapté aux fonctionnements hydrauliques spécifiques des deux estuaires de la Dives et de l'Orne. Il en a été conclu que le périmètre n'était en phase, ni avec la réalité des phénomènes hydrauliques, ni avec les organisations territoriales mises en place pour se prémunir de ces phénomènes. Il a ainsi été proposé aux collectivités, en octobre 2015 de scinder le PPRL « Dives-Orne » en deux PPR :

- le PPRL estuaire de la Dives (Cabourg, Dives-sur-mer, Périers-en-Auge et Varaville) prescrit le 4 avril 2016 ;
- le PPR multi-risque de la Basse Vallée de l'Orne (PPR BVO), prescrit le 20 mai 2016.

Les communes de Cabourg, de Dives-sur-mer, de Périers-en-Auge et de Varaville sont exposées à des phénomènes de submersion marine et/ou d'érosion et de migration dunaire.

II.2. Périmètre d'étude du PPRL

Le PPRL de l'estuaire de la Dives est établi sur l'ensemble du territoire des communes de Cabourg, Dives-sur-Mer, Périers-en-Auge et Varaville.

Tableau 1 : Les communes concernées par le PPRN de l'estuaire de la Dives.

Code INSEE	Nom
14117	Cabourg
14225	Dives-sur-Mer
14494	Périers-en-Auge
14724	Varaville

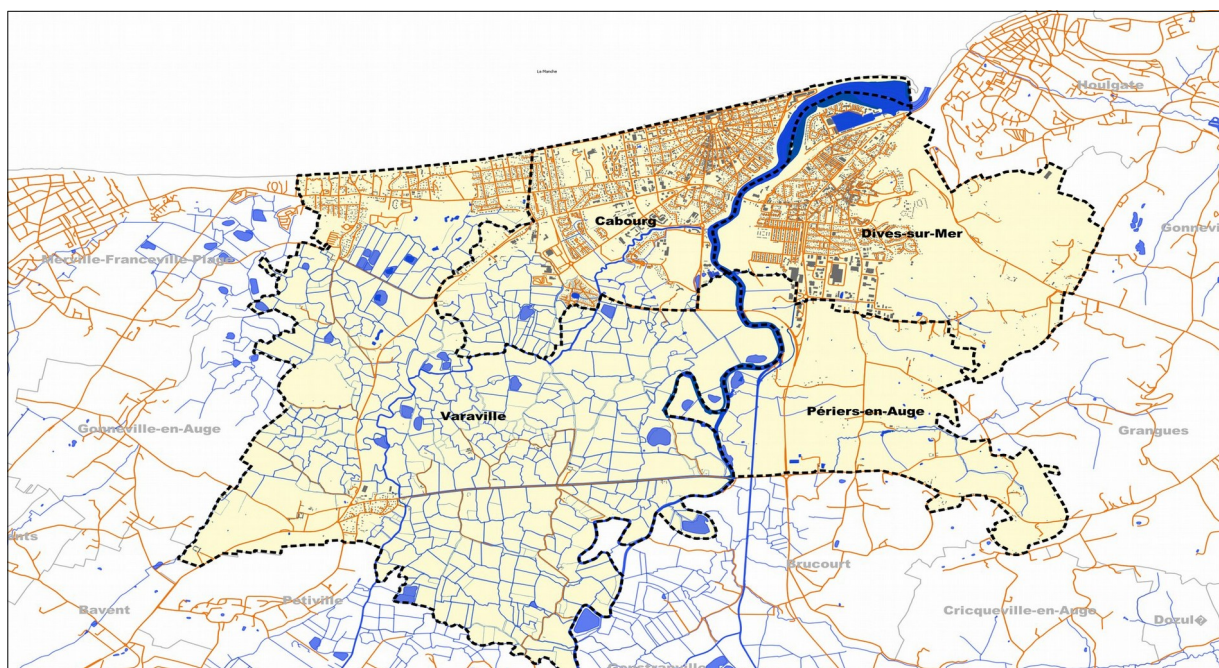


Figure 2 : Localisation des communes concernées par le PPRL de l'estuaire de l'Orne.

II.3. Prescription du PPRN

Les articles R.562-1 et R.562-2 du code de l'environnement définissent les modalités de prescription des PPRN.

Article R.562-2

L'arrêté prescrivant l'établissement d'un plan de prévention des risques naturels prévisibles détermine le périmètre mis à l'étude et la nature des risques pris en compte. Il désigne le service déconcentré de l'État qui sera en charge d'instruire le projet. Cet arrêté définit également les modalités de la concertation et de l'association des collectivités territoriales et des établissements publics de coopération intercommunale concernés, relatives à l'élaboration du projet.

Il est notifié aux maires des communes ainsi qu'aux présidents des collectivités territoriales et des établissements publics de coopération intercommunale compétents pour l'élaboration des documents d'urbanisme dont le territoire est inclus, en tout ou partie, dans le périmètre du projet de plan.

Il est, en outre, affiché pendant un mois dans les mairies de ces communes et aux sièges de ces établissements publics et publié au recueil des actes administratifs de l'État dans le département. Mention de cet affichage est insérée dans un journal diffusé dans le département.

Le plan de prévention des risques naturels prévisibles doit être approuvé dans les trois ans qui suivent l'intervention de l'arrêté prescrivant son élaboration.

Ce délai est prorogable une fois, dans la limite de dix-huit mois, par arrêté motivé du préfet si les circonstances l'exigent, notamment pour prendre en compte la complexité du plan ou l'ampleur et la durée des consultations.

Nota :

Conformément à l'article du décret n° 2011-765 du 28 juin 2011, ces dispositions sont applicables aux plans de prévention des risques naturels prévisibles dont l'établissement est prescrit par un arrêté pris postérieurement au dernier jour du premier mois suivant la publication du présent décret.

Le PPRL de l'estuaire de la Dives a été prescrit par arrêté préfectoral du 4 avril 2016. L'arrêté préfectoral du 1^{er} avril 2019 a prorogé de 18 mois l'élaboration du PPRL.

L'article 3 de cet arrêté précise que le PPRL de l'estuaire de la Dives portera sur les *risques* naturels de submersion marine, d'érosion et de migration dunaire.

II.4. Élaboration du PPRN

Le décret 95-1089 du 5 octobre 1995 a défini la procédure d'élaboration des PPRN :

- prescription de l'établissement d'un PPRN ou de sa révision par un arrêté préfectoral qui détermine le périmètre mis à l'étude et désigne le service déconcentré de l'État chargé d'élaborer le projet ;
- établissement du projet par les services de l'État ;
- consultation de la chambre d'agriculture et du centre régional de la propriété forestière ;
- consultation des conseils municipaux ;
- enquête publique ;
- approbation par arrêté préfectoral qui érige le PPRN en servitude d'utilité publique ;
- annexion du PPRN au POS, au PLU ou tout autre document d'urbanisme.

Le PPRN approuvé vaut SUP au titre de l'article 40-4 de la loi du 22 juillet 1987. Il doit donc être annexé au PLU (ou au POS) en application des articles L.126-1 et R.123-24-4 du Code de l'Urbanisme, par l'autorité responsable de la réalisation du POS ou du PLU (maire ou président de l'établissement public compétent).

À défaut, l'article L.126-1 du code de l'urbanisme, tel qu'il a été modifié par l'article 88 de la loi du 2 février 1995, fait obligation au préfet de mettre en demeure cette autorité d'annexer le PPRN au POS ou au PLU et, si cette injonction n'est pas suivie d'effet, de procéder d'office à l'annexion.

Il est souhaitable que les dispositions du POS ou du PLU soient mises en conformité avec le PPRN lorsque ces documents divergent pour rendre cohérentes les règles d'occupation du sol.

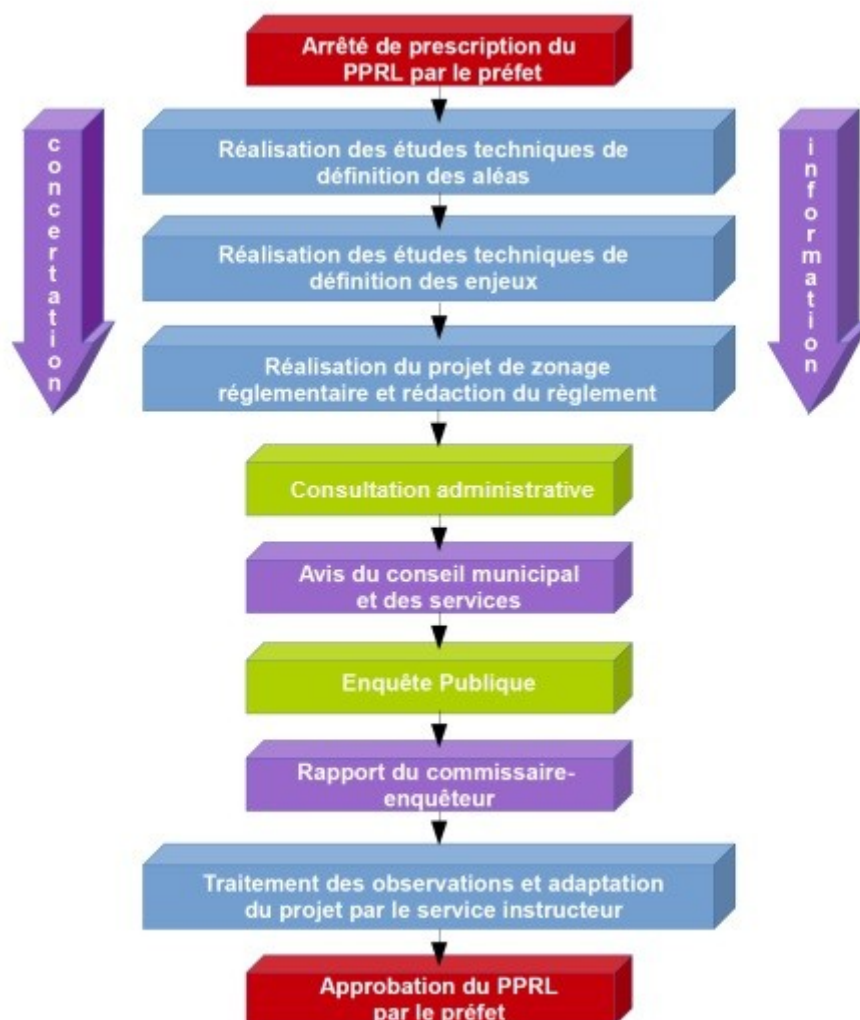


Figure 3 : Synoptique de la procédure d'élaboration des PPRL.

Le décret 2012- 616 du 2 mai 2012 relatif à l'évaluation environnementale de certains plans et programmes ayant une incidence sur l'environnement soumet à la procédure d'examen au cas par cas la nécessité de réaliser une évaluation environnementale des PPRN.

En date du 22 mai 2019, l'autorité environnementale a décidé après examen au cas par cas de ne pas soumettre l'élaboration du PPRL de l'estuaire de la Dives à évaluation environnementale.

II.5. Concertation

II.5.1. Le cadre réglementaire

La concertation dans l'élaboration des PPRN est une obligation réglementaire instituée par le décret n° 2005-3 du 4 janvier 2005 qui a modifié le décret n° 95-1089 du 5 octobre 1995 relatif aux PPRN.

Son article 2 prévoit que l'arrêté prescrivant l'établissement d'un PPRN définisse les modalités de la concertation relative à l'élaboration du projet.

La circulaire du 3 juillet 2007 relative à la consultation des acteurs, la concertation avec la population et l'association des collectivités territoriales dans les PPRN prévoit l'élaboration d'un bilan de la concertation.

Enfin, l'article R123-8-5 du Code de l'environnement précise que le dossier soumis à l'enquête publique comprend notamment le bilan de la concertation.

II.5.2. Rôle essentiel de la concertation

Au-delà des aspects réglementaires, la concertation est un élément essentiel de l'élaboration des PPRN.

Durant l'élaboration du PPRL de l'estuaire de la Dives, la concertation a été organisée autour de nombreuses réunions de travail entre le service instructeur et les représentants des collectivités territoriales concernées (communes et EPCI). Ces réunions se sont échelonnées tout au long des phases techniques, de l'analyse des phénomènes à l'élaboration du zonage réglementaire et du règlement. Des échanges nombreux ont notamment été nécessaires pour établir la cartographie des enjeux.

Des réunions du comité de pilotage ont permis d'échanger sur les cartographies des aléas et des enjeux ainsi que sur le règlement puis de valider ces documents.

II.5.3. Bilan de la concertation

Conformément à la réglementation en vigueur, le bilan de la concertation est intégré au dossier du PPRL de l'estuaire de la Dives.

II.6. Contenu du PPRN

Le contenu du PPRN est précisé à l'article R.562-3 du code de l'environnement. Le dossier du PPRN doit comprendre :

- une note de présentation qui motive l'élaboration du PPRN ;
- un document graphique (le plan de zonage réglementaire) délimitant les zones exposées aux *risques* en distinguant plusieurs niveaux d'*aléa* et identifiant les zones déjà urbanisées faisant l'objet de dispositions particulières ;
- un règlement écrit qui définit :
 - les conditions dans lesquelles des aménagements ou des constructions peuvent être réalisés dans la zone exposée;
 - les mesures de prévention, de protection et de sauvegarde à prendre par les collectivités et les particuliers ainsi que les mesures relatives à l'aménagement, à l'utilisation ou à l'exploitation des constructions, des ouvrages et des espaces mis en culture ou plantés.

Le PPRN comprend d'autres documents, qui ont pour vocation d'informer et de sensibiliser les acteurs locaux et la population. Ils ne sont pas directement opposables pour la gestion des actes d'urbanisme.

Il s'agit notamment :

- de la cartographie de l'*aléa* de submersion marine ;
- de la cartographie de l'*aléa* de recul du trait de côte ;
- de la cartographie des *enjeux* au 1/5 000 ;
- du bilan de la concertation.

Le PPRN peut enfin comprendre d'autres documents en annexe (textes de loi, décrets, circulaires, cartes explicatives, bibliographie, etc.).

II.7. Valeur juridique du PPRN

Conformément à l'article L.562-4 du Code de l'Environnement, le plan de prévention des *risques* naturels prévisibles approuvé vaut servitude d'utilité publique. Il est annexé au plan local d'urbanisme (article L.153-60 du Code de l'urbanisme).

L'arrêté préfectoral approuvant le PPRN fait l'objet d'un affichage en mairie et d'une publicité par voie de presse locale en vue d'informer les populations concernées.

Cette annexion revêt une importance toute particulière, dans la mesure où les articles L152-7 et L162-1 du code de l'urbanisme prévoient que dans le délai d'un an à compter de leur institution, seules les servitudes annexées au PLU et à la carte communale pourront être opposées aux demandes d'occupation du sol.

A compter du 1^{er} janvier 2020, si la servitude d'utilité publique (SUP) est publiée sur le GéoPortail de l'urbanisme, elle sera opposable aux demandes d'occupations des sols, même si l'annexion n'a pas été réalisée.

Conformément à l'article R.151-51 du code de l'urbanisme, l'annexion de PPRN au PLU fait l'objet de l'arrêté de mise à jour prévu par l'article R.153-18 de ce même code.

En cas de non-respect des prescriptions définies par le PPRN, les modalités d'assurance des biens et personnes sont susceptibles d'être modifiées.

Il est opposable à tout mode d'occupation ou d'utilisation du sol.

Les constructions, installations, travaux ou activités non soumis à un régime de déclaration ou d'autorisation préalable sont édifiés ou entrepris sous la seule responsabilité de leurs auteurs dans le respect des dispositions du présent PPRN.

Le PPRN traduit pour les communes, leur exposition aux *risques* tels qu'ils sont actuellement connus. Aussi, il peut faire l'objet d'une révision ou d'une modification si cette exposition ou cette connaissance évolue, conformément aux articles L.562-4-1 et R.562-10 du code de l'environnement.

III. Le contexte territorial

Les communes concernées par le PPRL de l'estuaire de la Dives présentent une grande diversité. Cette diversité traduit l'évolution historique du territoire depuis le début du XIXe siècle mais surtout au cours du XXe siècle. Le développement précoce de la station balnéaire de Cabourg a fortement influé sur l'évolution du territoire.

III.1. La population et l'habitat

Les quatre communes concernées par le PPRL de l'estuaire de la Dives comptent une population totale de 10 500 habitants¹. Il existe toutefois une forte disparité entre les communes (fig. 4).

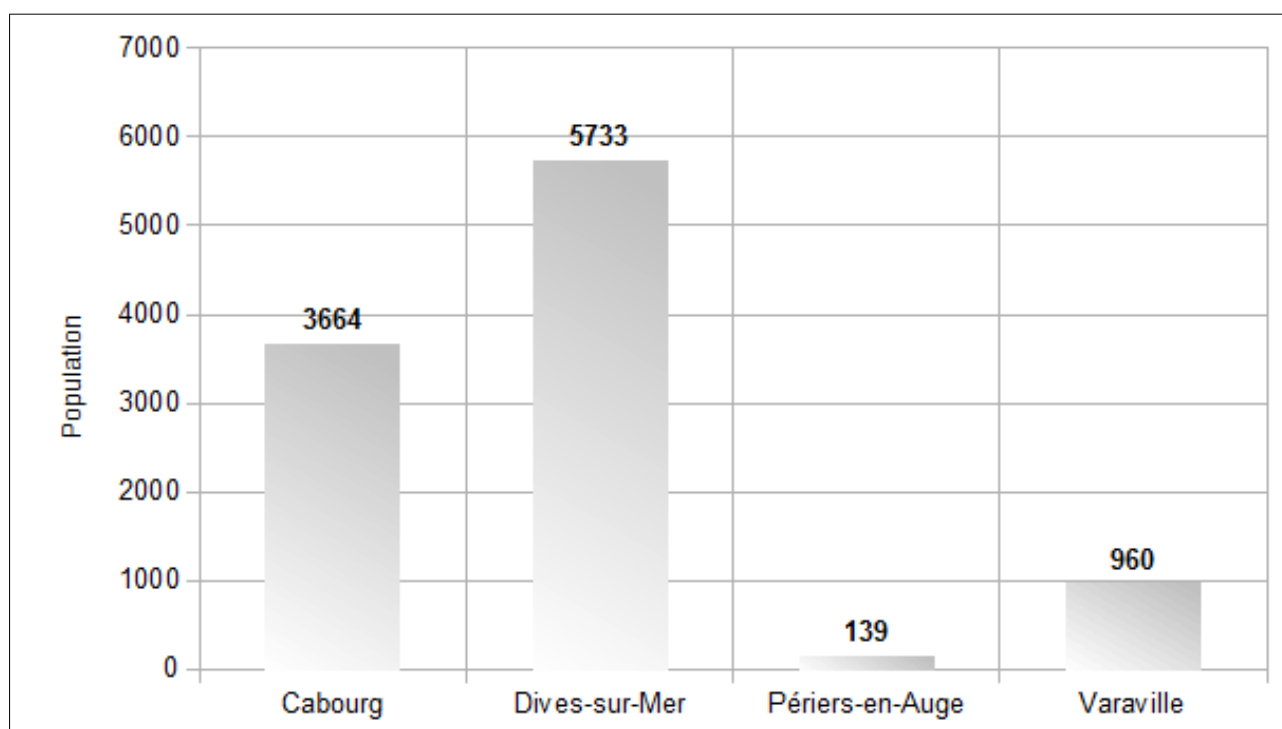


Figure 4 : Populations communales en 2015 (source : INSEE).

Les communes de Dives-sur-Mer et de Cabourg sont les plus peuplées et représentent près de 90 % de la population concernée par le PPRL de l'estuaire de la Dives.

1 Recensement de la population 2014 – INSEE

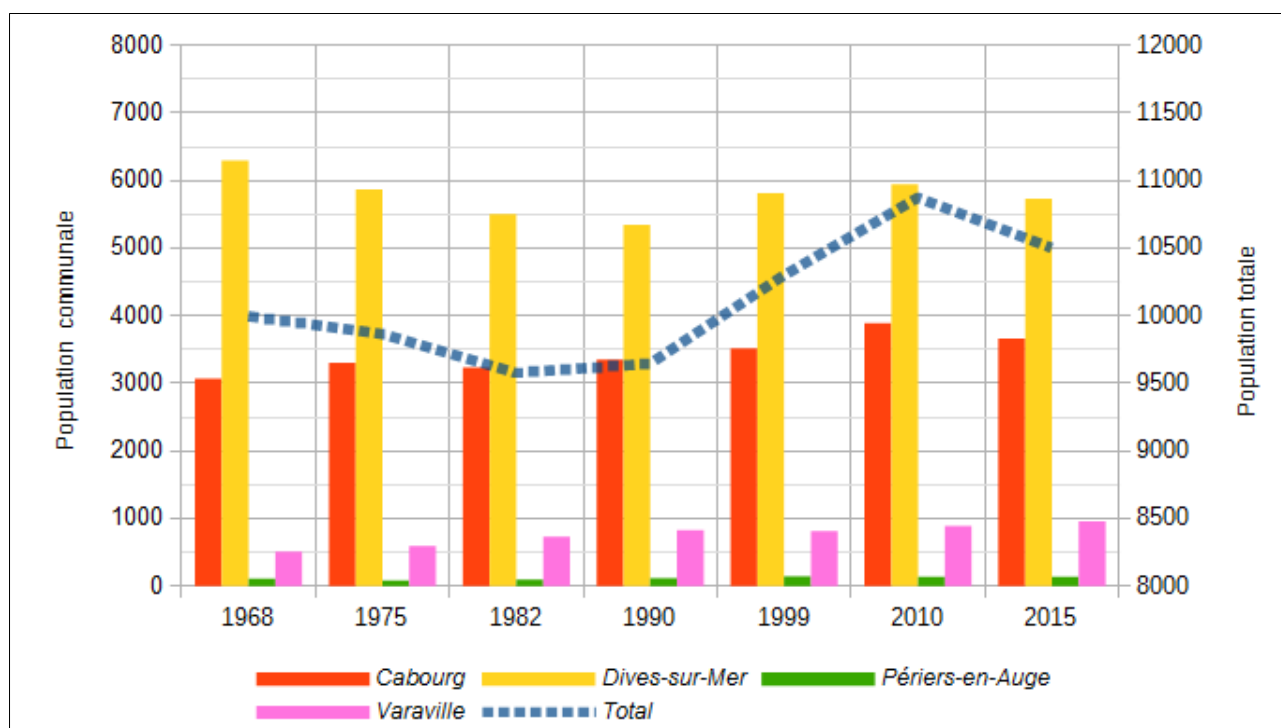


Figure 5 : Évolution de la population des communes de l'estuaire de la Dives (source : INSEE).

IV. Les phénomènes naturels et les aléas

Le PPRL vise à limiter les conséquences de la submersion marine et de l'évolution du trait de côte. Son élaboration nécessite une connaissance aussi précise que possible de ces phénomènes et la détermination des caractéristiques des phénomènes de référence.

On utilise le concept d'*aléa* pour définir et cartographier ces caractéristiques dans la zone étudiée. Dans le cadre général des PPRN, ce concept recouvre la probabilité d'occurrence et l'intensité de phénomènes de référence dont la période de retour est connue.

Les chapitres suivants présentent les principaux concepts utilisés (phénomènes de référence, période de retour, *aléa*) ainsi que les phénomènes naturels pris en compte par le PPRL de l'estuaire de la Dives et les éléments qui sont à leurs origines. Les informations exploitées et les données utilisées pour caractériser ces phénomènes y sont également résumées. Enfin, les qui leur sont associés sont présentés.

Remarque. Les études techniques réalisées ou exploitées dans le cadre de l'élaboration du PPRL ne sont pas reprises ici dans leur intégralité. Seules les informations essentielles ont été reprises et, si nécessaire, retranscrites sous une forme non technique. Des numéros entre crochets [x] renvoient aux références bibliographiques récapitulées en page 71.

IV.1. Concepts utilisés

Un glossaire (cf. page 7) propose les définitions des termes techniques utilisés lorsqu'ils ne sont pas expliqués dans le corps du texte. Les abréviations sont explicitées au début du rapport (cf. page 8).

Les aspects techniques des PPRL et notamment les méthodologies à mettre en oeuvre et les principales hypothèses à retenir sont définies par des principes généraux définies par des circulaires et des guides techniques. Les définitions proposées ici s'inspirent de ces documents.

Un guide spécifique au PPRL [6] précise notamment les modalités de prise en compte des ouvrages de protection et les hypothèses à retenir pour la prise en compte du changement climatique.

IV.1.1. Notion de période de retour

La période de retour est une notion statistique qui définit la probabilité d'observer un phénomène donné (le phénomène de référence) sur une période de temps donnée (100 ans dans le cas des PPRL).

Un phénomène centennal est un phénomène qui a 1 chance sur 100 de se produire ou d'être dépassé chaque année. Sa probabilité d'occurrence est de 63 % sur un siècle et de 99,9 % sur mille ans. Ce n'est donc pas un phénomène qui se produit périodiquement tous les cents ans, ni un phénomène qui se produit systématiquement une fois par siècle.

Tableau 2 : Période de retour et probabilité d'occurrence.

Période de retour du phénomène	Probabilité	Sur 1 an	Sur une période de 30 ans	Sur une période de 100 ans
Phénomène décennal (fréquent)	Probabilité d'occurrence	10 %	96 %	99,997 %
	Signification	1 chance sur 10 d'observer le phénomène ou un phénomène supérieur	Le phénomène sera probablement observé ou dépassé une fois	Le phénomène sera « sûrement » observé ou dépassé une fois
Phénomène centennal (rare)	Probabilité d'occurrence	1 %	26 %	63 %
	Signification	1 chance sur 100 d'observer le phénomène ou un phénomène supérieur	1 chance sur 4 d'observer le phénomène ou un phénomène supérieur	2 chances sur 3 d'observer le phénomène ou un phénomène supérieur
Phénomène millénaire (exceptionnel)	Probabilité d'occurrence	0,1 %	3 %	10 %
	Signification	1 chance sur 1000 d'observer le phénomène ou un phénomène supérieur	1 chance sur 33 d'observer le phénomène ou un phénomène supérieur	1 chance sur 10 d'observer le phénomène ou un phénomène supérieur
<i>La ligne mise en évidence correspond aux hypothèses retenues pour l'élaboration des PPRL.</i>				

Certains phénomènes (vent, précipitations, débits des cours d'eau, etc.) se prêtent à une analyse statistique si on dispose de mesures fiables portant sur des périodes d'observations suffisamment longues (plusieurs décennies pour évaluer un phénomène centennal).

D'autres phénomènes, comme les mouvements de terrain qui affectent le littoral, ne peuvent faire l'objet de ce type d'analyse. Ils évoluent en effet de manière discontinue dans le temps (alternance de phases d'évolution lente et d'accélération ou survenue instantanée) et leur intensité est difficilement quantifiable. Tout au plus peut-on définir une fréquence empirique en comptant les événements survenus dans le passé à condition de disposer d'un inventaire représentatif de ces événements.

IV.1.2. Notion d'aléa

L'aléa est un concept destiné à traduire, pour une zone géographique donnée, un degré d'exposition à un phénomène naturel. Ce degré d'exposition – ou degré d'aléa – dépend de la probabilité d'occurrence du phénomène et de son intensité probable sur la zone considérée.

Pour les PPRN, l'aléa est défini pour un **phénomène de référence** (par exemple une crue centennale) ou pour une combinaison de phénomènes constituant un **scénario de référence** (par exemple une tempête avec des vents défavorables associés à un fort coefficient de marée) dont la période de retour est de 100 ans. C'est cette dernière approche qui est mise en œuvre pour le PPRL de l'estuaire de la Dives.

L'aléa est évalué de manière quantitative si les caractéristiques du phénomène (hauteur d'eau, vitesses d'écoulement par exemple) peuvent être définies par des modèles mathématiques. Dans le cas contraire, on détermine l'aléa de manière qualitative.

IV.1.3. Phénomène et scénario de référence

Le phénomène de référence des PPRN est le plus fort phénomène historique connu si sa période de retour est supérieure à 100 ans ou, dans le cas contraire, un phénomène théorique de période de retour centennale.

Ce principe est appliqué pour l'élaboration de tous les PPRN quels que soient les phénomènes concernés. Il doit néanmoins être adapté pour des phénomènes tels que le recul du trait de côte qui ne peut être aisément analysé et pour lequel la notion de période de retour n'est pas définie (voir paragraphe IV.1.1).

Des études statistiques détaillées ont été réalisées pour définir les caractéristiques des phénomènes ou des combinaisons de phénomènes de période de retour centennale.

Cette approche est complétée par une prise en compte des effets probables du changement climatique tels qu'ils ont pu être évalués par le GIEC. Les éléments retenus pour les PPRL sont repris par le guide méthodologique pour l'élaboration des PPRL [6].

La complexité des phénomènes naturels et les multiples interactions entre les éléments qui se combinent pour les provoquer (tempêtes, marées, comportement des *systèmes de protection* naturels ou artificiels, etc.) impliquent l'élaboration de scénarios de référence correspondant à des ensembles d'hypothèses. Le guide méthodologique pour l'élaboration des PPRL [6] définit donc trois scénarios, résumés dans le tableau 3, qui seront utilisés pour la cartographie de l'aléa de submersion marine :

1. un scénario de référence, qui intègre une surélévation de 20 cm du niveau marin par rapport au niveau actuel pour tenir compte de son évolution à court terme du fait du réchauffement climatique ;

2. un scénario à échéance 100 ans, qui intègre une surélévation de 60 cm du niveau marin par rapport au niveau actuel pour tenir compte de son évolution à échéance 100 ans. Si le trait de côte est susceptible d'évoluer, c'est sa position probable à échéance 100 ans qui est prise en compte. Toutes les autres hypothèses sont identiques à celles du scénario de référence ;
3. un scénario en l'absence d'ouvrage, qui intègre l'hypothèse d'une *ruine généralisée* des ouvrages de protection, toutes les autres hypothèses étant identiques à celles du scénario de référence. Ce scénario n'est étudié qu'à titre informatif.

Tableau 3 : Caractéristiques des scénarios de référence.

Scénario	Désignation de l'aléa	Niveau marin
Scénario de référence	aléa de référence	niveau actuel + 20 cm
Scénario à échéance 100 ans	aléa à échéance 100 ans	niveau actuel + 60 cm
Scénario sans ouvrage de protection	<i>aléa de référence avec ruine généralisée</i> des ouvrages de protection	niveau actuel + 20 cm

Remarque. Deux scénarios complémentaires ont été étudiés à la demande du service instructeur. Ils correspondent respectivement à un phénomène fréquent, à forte probabilité d'occurrence et à un phénomène exceptionnel, de plus grande ampleur que le scénario de référence et à faible probabilité d'occurrence. Ces scénarios correspondent aux exigences de la démarche d'identification des territoires à risque d'inondation (TRI), initiée par la directive européenne 2007/60/CE du 23 octobre 2007. Ces scénarios ne sont pas utilisés pour le PPRL, mais ils apportent des informations pouvant être utilement intégrées aux PCS.

IV.2. Les phénomènes historiques

La connaissance des phénomènes passés est un préalable indispensable à l'analyse des phénomènes naturels pouvant survenir dans le futur. Cette connaissance doit toutefois être interprétée avec prudence et discernement pour de multiples raisons : les informations disponibles peuvent être incomplètes, erronées ou tendancieuses, le milieu a pu évoluer depuis la survenue du phénomène (évolution de la topographie, réalisation d'aménagement, construction ou destruction d'ouvrages de protection, etc.), la *vulnérabilité* des enjeux peut être différente et l'ampleur des dommages mal interprétée en termes d'intensité du phénomène.

Les phénomènes historiques ayant affecté la zone d'étude ont été recherchés et inventoriés [1] à partir de principales sources disponibles :

- les archives départementales² ;
- les études techniques disponibles mises à disposition par le maître d'ouvrage ;
- les collectivités, consultées par le biais d'un questionnaire spécifique et lors des rencontres de collecte de données et de concertation.

La recherche porte essentiellement sur les tempêtes et leurs conséquences. Les mouvements de terrain affectant les falaises ne font pas, sauf événement catastrophique ou remarquable par leur ampleur, l'objet de relation dans les archives ; ils sont en effet le plus souvent perçus comme la conséquence d'une évolution naturelle et inéluctable du littoral et non comme des événements marquants.

Cet inventaire ne prétend pas à l'exhaustivité et la fréquence des tempêtes répertoriées entre le début du XIXe et le début du XXIe siècle (fig. 6) pour la zone comprise entre Dives-sur-Mer et Tracy-sur-Mer montre bien que les sources disponibles sont très incomplètes. Il comprend les événements tempétueux ayant ou non fait des dégâts. Certaines données, notamment en période de conflits ou pour certaines décennies peuvent être peu nombreuses voire inexistantes. Par ailleurs, certaines décennies bien renseignées peuvent ne l'être que sur deux ou trois ans, sans présenter un historique complet et homogène.

Remarque. *Si la connaissance des phénomènes passés est utile, la mise en œuvre de recherches plus poussées, exploitant d'autres sources, ne se justifie pas dans le cadre de l'élaboration d'un PPRL. Les informations collectées sont en effet les plus souvent très succinctes et peu exploitables hormis pour souligner la réalité de tempêtes violentes.*

2 Notamment les séries E dépôt, Bib, J, M, O, PR, S et W.

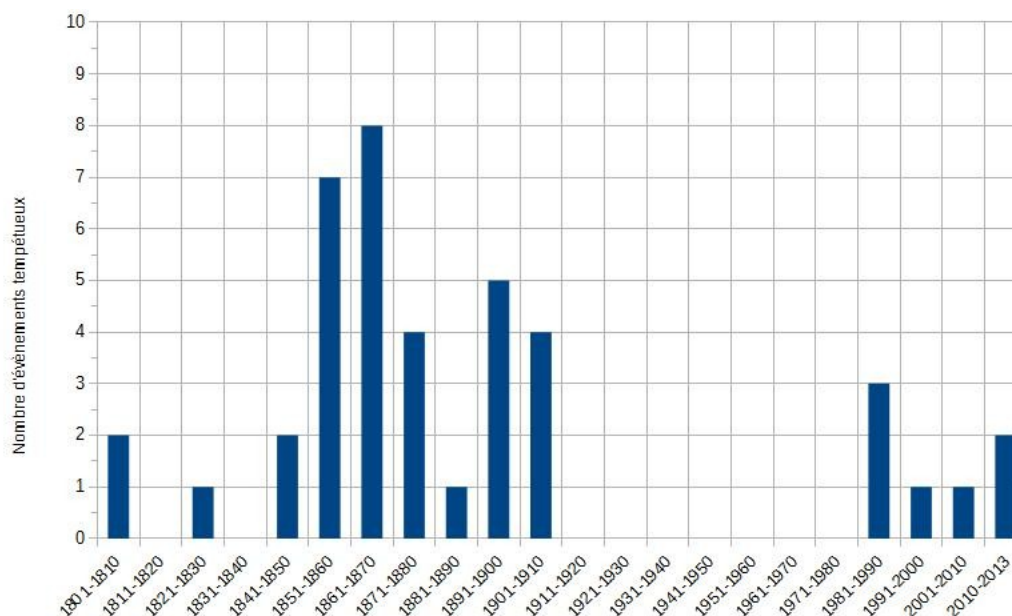


Figure 7 : Nombre d'évènement tempétueux répertoriés par décennies pour la zone comprise entre la Dives et le Bessin.

Les informations essentielles relatives aux tempêtes les plus anciennes qui ont pu être répertoriées sont résumées dans le tableau 4. Les études techniques préalables au PPRL [1] comporte des fiches qui synthétisent toutes les informations collectées.

Tableau 4 : Évènements tempétueux recensés du début du XIXe au début du XXe siècle.

Date	Localisation	Submersion	Paquet de mer	Brèche	Surverse	Inondation	Direction du vent dominant	Marée (coeff)	Dégâts	Dégâts ouvrages	Dégâts cordon dunaire	Dégâts habitations	Inondation marais	nauffrage
12-13 février 1808	Dives-sur-mer	X	X	X					X				X	
18 novembre 1808	Dives-sur-mer	X	X	X					X	X			X	
13 octobre 1856	Cabourg	X	X	X					X	X				
17 septembre 1860	Cabourg								X		X			
01/03/76	Cabourg								X	X				
31 janvier 1877	Cabourg								X	X				

X : présence de l'élément identifié, FCM : fort coefficient de marée, VE : marée de vives eaux

Les phénomènes les plus récents sont mieux connus et on dispose d'éléments plus précis permettant de mieux évaluer les dommages qu'ils ont occasionnés.

Les principales tempêtes sont répertoriées dans le tableau 5. Certaines d'entre elles ont conduit à des arrêtés de reconnaissance de l'état de catastrophe naturelle (CATNAT). On peut noter qu'il n'y a eu aucune reconnaissance de l'état de catastrophe naturelle sur les communes concernées depuis 1987 (tab. 6).

Tableau 5 : Principales tempêtes répertoriées (1980 – 2017)

Date	Observations
23 et 24 janvier 1984	Vents violents à Caen (112 km/h). Dégâts liés à l'action mécanique des vagues
26 et 27 novembre 1983	Vent de 144 km/h à Caen le 26/11/1983. Intensité exceptionnelle.
22 au 24 novembre 1984	Vent de 137 km/h à Caen le 26/11/1984
15 et 16 octobre 1987	« Ouragan ». Arrêté CATNAT sur les communes du littoral
26/12/99	Tempête Lothar. Surcote remarquable avoisinant les 70 cm à 1 mètre près de la trajectoire de la dépression (Bretagne et Normandie).
27 et 28 février 2010	Tempête Xynthia.

Tableau 6 : Liste des arrêtés de reconnaissance de l'état de catastrophe naturelle (CATNAT).

Commune	Phénomène	Début le	Fin le	Arrêté du	Code national CATNAT
Cabourg	Chocs mécaniques liés à l'action des vagues	23/11/84	25/11/84	14/03/85	14PREF19850013
Cabourg	Inondations, coulées de boue et glissements de terrain	23/11/84	25/11/84	11/01/85	14PREF19850003
Cabourg	Inondations, coulées de boue et mouvements de terrain	25/12/99	29/12/99	29/12/99	14PREF19990161
Cabourg	Tempête	15/10/87	16/10/87	22/10/87	14PREF19870105
Dives-sur-Mer	Inondations, coulées de boue et mouvements de terrain	25/12/99	29/12/99	29/12/99	14PREF19990267
Dives-sur-Mer	Inondations et coulées de boue	07/11/00	07/11/00	12/02/01	14PREF20010020
Dives-sur-Mer	Mouvements de terrain	16/01/01	31/07/01	04/07/02	14PREF20020009
Dives-sur-Mer	Tempête	15/10/87	16/10/87	22/10/87	14PREF19870211
Périers-en-Auge	Inondations, coulées de boue et mouvements de terrain	25/12/99	29/12/99	29/12/99	14PREF19990509
Périers-en-Auge	Inondations et coulées de boue	17/01/95	31/01/95	06/02/95	14PREF19950141
Périers-en-Auge	Tempête	15/10/87	16/10/87	22/10/87	14PREF19870453
Varaville	Inondations, coulées de boue et mouvements de terrain	25/12/99	29/12/99	29/12/99	14PREF19990724
Varaville	Tempête	15/10/87	16/10/87	22/10/87	14PREF19870668

Source : www.georisques.gouv.fr

La tempête Xynthia a marqué les esprits du fait de son intensité exceptionnelle et des nombreuses victimes qu'elle a provoquées sur le littoral atlantique, notamment du fait de la rupture de digues de protection.

Dans la zone concernée par le PPRL de l'estuaire de la Dives, elle ne fut toutefois pas d'une intensité exceptionnelle et les conditions observées sont sensiblement inférieures aux conditions centennales constituant le phénomène de référence pour l'élaboration de ce PPRL. Aucun arrêté de reconnaissance de l'état de catastrophe naturelle n'a d'ailleurs été pris à la suite de cette tempête.

IV.3. La submersion marine

Ce phénomène correspond à l'inondation temporaire de la zone côtière par la mer lors de conditions météorologiques et océaniques défavorables, conjuguant basses pressions atmosphériques et fort vent d'afflux lors d'une pleine mer [6]. Ces conditions se rencontrent généralement lors de fortes tempêtes avec de forts coefficients de marées. Ces inondations peuvent se prolonger pendant plusieurs jours et survenir de manière brutale.

La submersion peut se produire dans trois cas [6] :

1. par débordement, lorsque le niveau marin est supérieur à la cote du terrain naturel ou à la cote de crête des ouvrages ;
2. par franchissements de paquets de mer liés aux vagues, lorsque après déferlement de la houle, les paquets de mer dépassent la cote du terrain naturel ou à la cote de crête des ouvrages ;
3. par rupture du cordon dunaire naturel ou d'un ouvrage de protection³, lorsque les terrains situés en arrière sont en dessous du niveau marin. Une telle rupture peut être consécutive à l'attaque par la houle, à l'insuffisance ou au mauvais entretien d'un ouvrage, à une érosion chronique intensive, à un phénomène de surverse, à un déséquilibre sédimentaire du cordon naturel, etc.

D'autres phénomènes sont généralement associés aux conditions qui peuvent induire une submersion marine :

- le choc des vagues peut exercer des pressions importantes contre les structures sans donner lieu à une inondation significative. Ce phénomène est ici appelé « *choc mécanique* » ;
- le déversement brutal des eaux peut provoquer des chocs violents et s'accompagner d'écoulements très rapides qui affectent notamment les zones situées immédiatement à l'arrière des ouvrages *systèmes de protection* en cas de brèches ou dans des zones d'écoulement préférentiel.

Le PPRL s'attache à prendre en compte tous les aspects de ce phénomène.

3 On utilise le terme de « système de protection » pour désigner les éléments naturels ou anthropiques qui protègent de la mer une zone située sous le niveau marin.

IV.3.1. Caractérisation de la submersion marine

Le phénomène de submersion marine est caractérisé par un ensemble de conditions naturelles particulières, généralement observées lors des tempêtes (fort vent induisant de fortes houles, basse pression atmosphérique) concomitantes avec de forts coefficients de marée. Ces conditions peuvent également provoquer le débordement des cours d'eau côtiers, qui contribuent alors au phénomène de submersion.

Les principaux éléments contribuant à ces conditions spécifiques dans la zone d'étude sont présentés succinctement dans le chapitre suivant.

Sur les côtes de la Manche, les tempêtes sont caractérisées par des vents modérés à forts (plus de 8 m/s soit environ 30 km/h ou 15 nœuds) de secteur Nord – Nord-Ouest à Nord -Est, combinés à une basse pression atmosphérique et se prolongeant pendant plus de 48 h consécutives. Il y a une grande variabilité inter-annuelle des tempêtes dans la Manche, mais elles ont majoritairement lieu en hiver.

Les tempêtes ont plusieurs impacts sur le littoral et sont évidemment le principal facteur de submersion marine. En effet, les surcotes et le déferlement engendré tendent à augmenter le niveau marin, ce qui a pour effet d'endommager voire de faire rompre les ouvrages de protection, tels les cordons dunaires ou les digues. La submersion peut également être provoquée par le franchissement des ouvrages par des paquets de mer.

Les tempêtes peuvent par ailleurs être la cause d'inondations dans l'arrière-pays par débordement des cours d'eau, surtout dans les zones de marais et de polders. En effet, l'entrée d'eau dans les cours d'eau et les canaux peut entraîner un débordement de ceux-ci et par la suite poser des problèmes de drainage des zones basses.

Enfin, les tempêtes sont en partie responsables de l'érosion des côtes, ce qui peut avoir une incidence sur la capacité du site à résister à une submersion. En effet, l'érosion tend à amincir les dunes, à fragiliser les ouvrages comme les digues, qui n'ont alors plus le même rôle protecteur.

Ces diverses conditions sont étudiées séparément puis combinées pour définir les scénarios de référence du PPRL. Les analyses du niveau marin, des vents et l'état de la mer (houle) sont résumées dans les chapitres suivants.

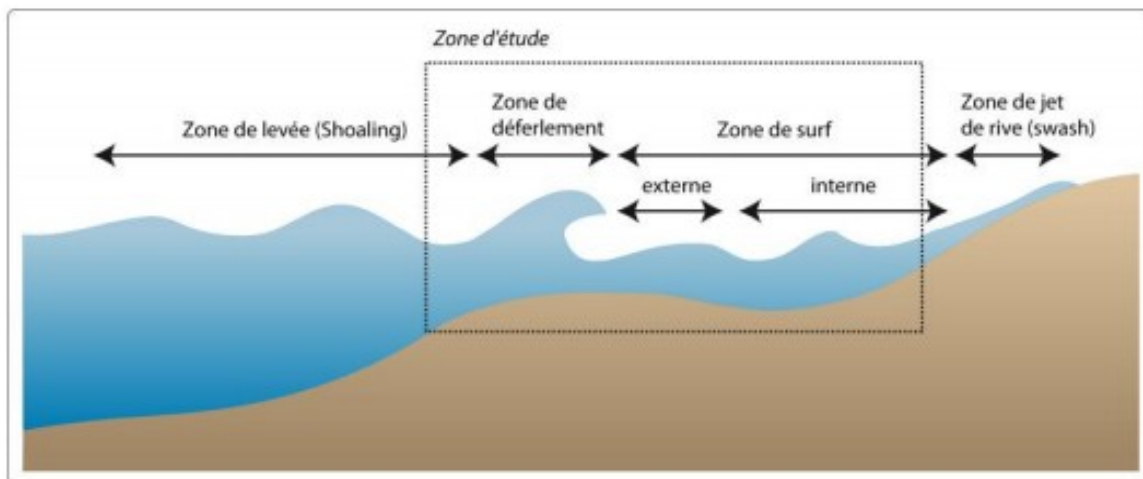


Figure 7 : Zones hydrodynamiques (Cartier, 2013)

IV.3.1.1. Le niveau marin et les marées

La connaissance des niveaux marins, et plus particulièrement des niveaux marins extrêmes, est essentielle pour l'étude de la submersion marine. Les niveaux marins aggravent les effets des tempêtes et favorisent la submersion marine.

Le niveau marin varie en fonction des marées et l'ampleur de ces variations n'est pas constante le long des côtes. Une analyse de ces variations est donc nécessaire pour définir les niveaux marins de référence qui seront intégrés aux scénarios utilisés pour la détermination de l'aléa de submersion marine.

Remarque. Pour faciliter l'interprétation des niveaux marins et notamment leur comparaison avec la topographie dans les zones potentiellement submersibles et avec les cotes des ouvrages de protection, les niveaux marins seront exprimés dans le système national de référence pour les altitudes (IGN69) et non en cote marine rattachée au zéro hydrographique local.

L'annuaire des marées du SHOM (2012) (Service hydrographique et océanographique de la Marine) indique les hauteurs des marées astronomiques (tab. 7) pour plusieurs sites côtiers du Calvados. Le marnage est de 3,5 m entre les moyennes hautes et basses mers et de 6,5 m lors des vives-eaux.

Dans la Manche, l'onde de marée se propage de l'Ouest à l'Est et possède des caractéristiques différentes le long des côtes en raison de son interaction avec les fonds lors de sa propagation.

Tableau 7 : Niveaux de marée astronomique le long des côtes du Calvados.

Niveau marin Sites	PHMA*	PMVE*	PMME*	NM*	BMME*	BMVE*	PBMA*
Dives-sur-Mer	4,240 m	3,710 m	2,310 m	0,490 m	-1,440 m	-3,240 m	-4,300 m
Ouistreham	4,040 m	3,620 m	2,320 m	0,550 m	-1,380 m	-3,080 m	-4,030 m
Courseulles (Large)	3,960 m	3,510 m	2,260 m	0,570 m	-1,190 m	-2,840 m	-3,720 m
Arromanches-les-Bains	3,871 m	3,381 m	2,081 m	0,411 m	-1,319 m	-2,919 m	-3,779 m
Port-en-Bessin	3,983 m	3,453 m	2,153 m	0,503 m	-1,197 m	-2,747 m	-3,597 m

(*) **PHMA** : plus haute mer astronomique, **PMVE** : pleine mer moyenne de vives-eaux, **PMME** : pleine mer moyenne de mortes-eaux, **NM** : niveau moyen, **BMME** : basse mer moyenne des mortes-eaux, **BMVE** : basse mer moyenne des vives-eaux, **PBMA** : plus basse mer astronomique.

Les niveaux marins extrêmes ont été définis, pour des périodes de retour de 10, 20, 50 et 100 ans, dans une étude statistique réalisée en 2012 dans le cadre d'un partenariat SHOM – CETMEF (Centre d'études techniques maritimes et fluviales) [9]. Cette étude repose sur l'exploitation de l'ensemble des données marégraphiques disponibles au SHOM⁴, et les niveaux marins calculés tiennent donc compte des *surcotes atmosphériques*.

Les niveaux de pleine mer avec une période de retour de 100 ans proposés par cette étude pour la Baie de Seine sont présentés sur la figure 8.

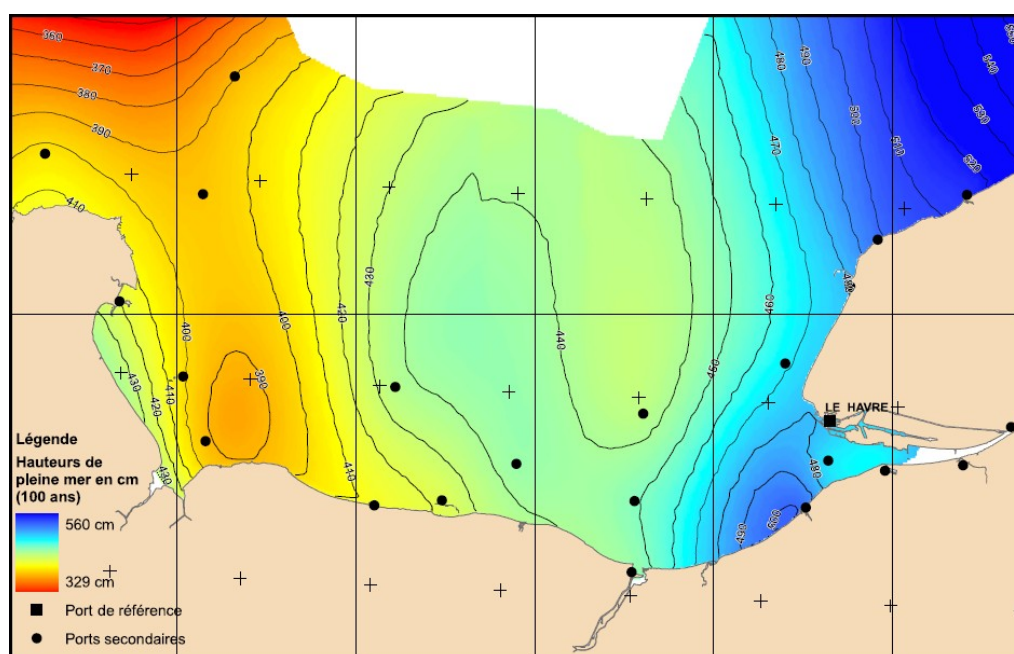


Figure 8 : Carte des niveaux extrêmes de pleine mer en Baie de Seine pour une période de retour de 100 ans (source : SHOM/CETMEF, 2012)

4 Données disponibles jusqu'au 22/11/2009.

Les valeurs concernant spécifiquement la zone d'étude, interpolées par la DREAL (Direction régionale de l'aménagement et de l'environnement) en 2013, à partir des résultats de l'étude [9], sont récapitulées dans le tableau 8.

Tableau 8 : Niveaux marins extrêmes dans la zone étudiée

Communes	Niveau extrême de pleine mer (m IGN69) Période de retour 100 ans
Le Havre*	4,8 m
Dives-sur-Mer	4,9 m
Cabourg	
Varaville	
Franceville-Merville-Plage (Est)	
Franceville-Merville-Plage (Ouest)	4,5 m
Sallenelles	
Ouistreham	
Colleville-Montgomery	
Hermanville-sur-Mer	
Bernières-sur-Mer	
Courseulles-sur-Mer	4,4 m
Graye-sur-Mer	
Ver-sur-Mer	
Meuvaines	
Asnelles	
Saint-Côme-de-Fresné	
Arromanches-les-Bains	
Tracy-sur-Mer	
Cherbourg*	4,2 m
* niveaux de référence des marégraphes (SHOM – CETMEF 2012) Les niveaux sont issus de l'interpolation réalisée par la DREAL en 2013	

Pour les différents scénarios étudiés dans le cadre du PPRL, une interpolation plus fine des niveaux d'eau par section homogène de la côte est proposée. Une approche différente est appliquée pour les conditions d'Ouest et du Nord – Nord-Est :

- secteur Ouest : ces niveaux extrêmes correspondent à *une pleine mer astronomique* importante, liée à une *surcote atmosphérique*. Les résultats de l'étude des niveaux extrêmes le long des côtes françaises du SHOM – CETMEF [9] sont utilisées pour déterminer les niveaux de chaque section homogène par rapport au niveau au Havre.

– secteur Nord – Nord-Est : l’analyse statistique des niveaux extrêmes est faite sur les *pleines mers astronomiques sans surverse*, en raison de la faible corrélation constatée entre ces deux phénomènes. L’interpolation des cotes extrêmes est, par conséquent, faite sur la base des *pleines mers astronomiques* aux ports de la zone PPRL : Dives-sur-Mer, Ouistreham, Courseulles-sur-Mer et Arromanches-les-Bains. Les cotes applicables dans les zones situées entre ces ports sont interpolées à dire d’expert.

Les valeurs obtenues par section homogène sont présentées sur la figure 9. Elles ne prennent pas en compte l’élévation due au réchauffement climatique, ni les effets locaux tels que la *surcote* ou *set-up de houle* (qui a été étudié dans le modèle de houle).

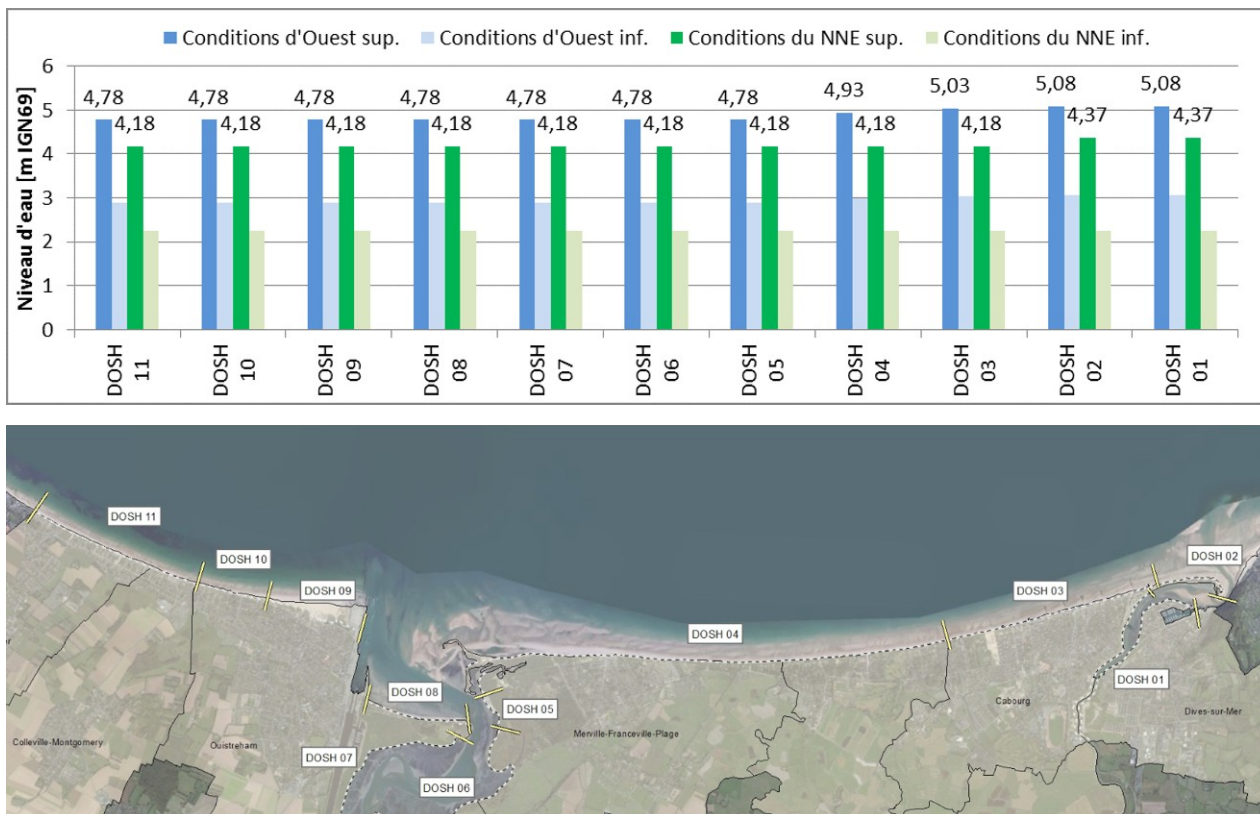


Figure 9 : Niveaux de référence +20 cm d’élévation par section homogène, secteur Dives-Orne (conditions d’Ouest et du N-NE, valeurs supérieures et inférieures, surcote de houle exclue).

IV.3.1.2. Les vents

Les vents jouent un rôle essentiel dans la formation de la houle. Ils ont été étudiés à l’échelle régionale à partir des données de Météo-France et à une échelle plus locale, à partir de divers points de mesure permettant une analyse quantitative des vents au large de la zone d’étude et des vents littoraux.

a. Les vents régionaux

La circulation des centres dépressionnaires du nord de l’Atlantique à la Mer du Nord génère sur l’ex- Basse-Normandie un régime de vent dominant de secteur Sud-Ouest à Ouest (fig. 10).

Les vents les plus forts sont enregistrés en hiver dans les zones exposées que sont les côtes de l'ouest du Cotentin ainsi que les caps situés au nord de la région. On relève en moyenne 130 jours de vent fort (rafales supérieures à 16 m/s) à La Hague contre 60 jours à Deauville / Saint-Gatien-des-Bois.

Une seconde composante de vent, de Nord-Est à Est, se rencontre régulièrement en présence d'un *anticyclone* ou d'une *dorsale* se prolongeant sur les îles britanniques. Au printemps et en été, une telle situation tend à renforcer les régimes de brise qui s'établissent régulièrement sur la frange littorale septentrionale. Dans le Calvados, ces brises marines se font parfois sentir loin en plaine, jusqu'au pays de Falaise (IFREMER, 2013 & Météo France, 2013).

La rose de vent de Météo France en baie de Seine montre le composant dominant du sud-ouest à ouest, avec des valeurs fréquentes supérieures à 5 m/s et à 8 m/s (respectivement 18 km/h et 29 km/h). Le second composant du Nord-est est également visible. On trouve plus de variation dans les directions de vent à Caen. Les vitesses de vent supérieures à 29 km/h sont nettement plus rares comparé aux vitesses mesurées à la côte.

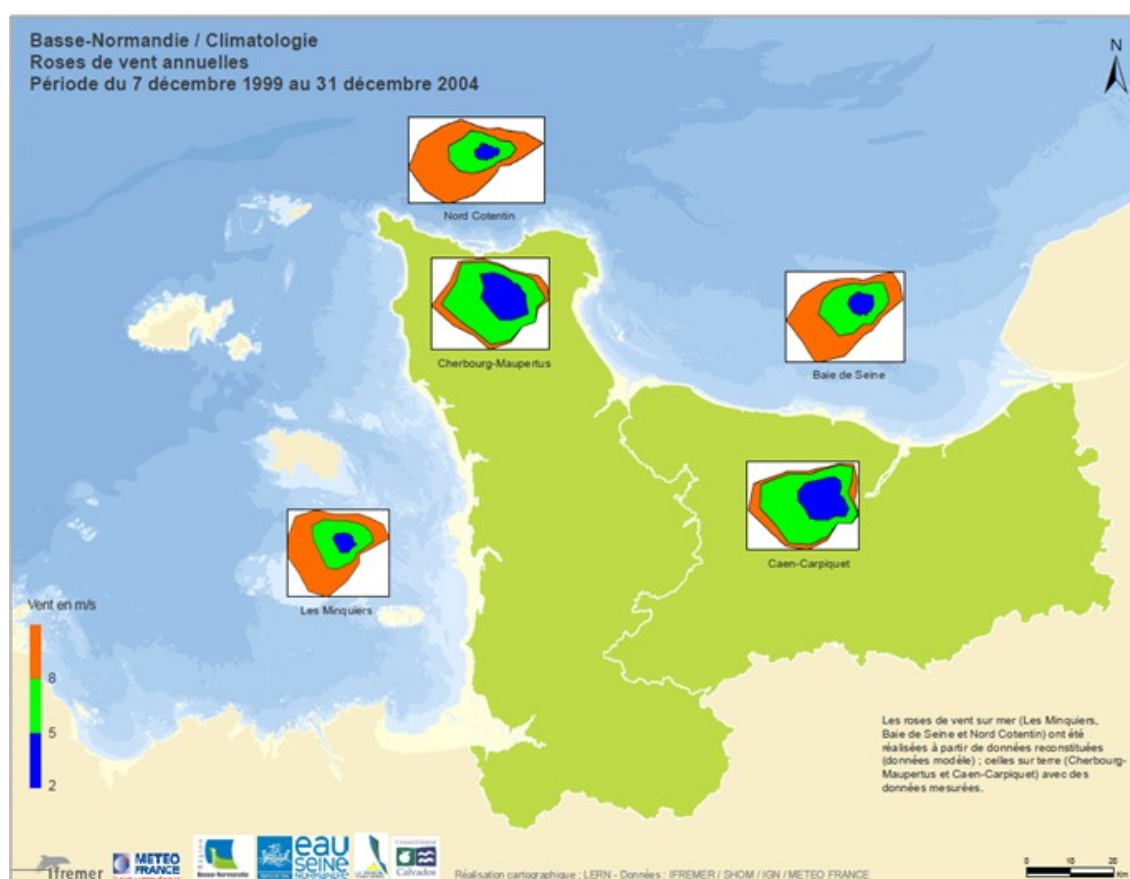


Figure 10 : Comparaison de roses de vent sur le territoire de la Basse-Normandie (IFREMER & Météo France 2013).

b. Vents locaux

Plusieurs stations météorologiques de Météo France sont présentes sur le littoral du Calvados et fournissent des informations sur les vents locaux sur le littoral (Englesqueville-la-Percée, Port-en-Bessin-Huppain, Bernières-sur-Mer, Sallenelles, Saint-Gatien-des-Bois).

Une étude réalisée par le GRESARC (Groupe de recherche sur les environnements sédimentaires aménagés et les risques côtiers) en 2007 à partir des données de la station de Bernières-sur-Mer, montre la prédominance des vents du Sud-Ouest à la côte (17 % des vents sont de secteur N 200° à N 220°) et du Nord-Est (10 % des vents sont de secteur N 50° à N 70°).

Les échanges thermiques entre la mer et les terres peuvent engendrer des brises littorales. Ces brises, variant de direction entre jour et nuit (respectivement vers les terres et vers la mer) ont un effet très local sur les *champs de houle*. Le long des côtes du Calvados, où le régime de vents normaux est bien établi et prédominant, ces brises ont une influence négligeable par rapport aux *champs de vent* de tempête en conditions extrêmes.

c. Les vents au large

Les données mesurées au large par le Greenwich Light Vessel⁵, et fournies par l'institut climatologique du Royaume-Uni (Met Office) permettent d'apprécier les vents au large. Ces données montrent que les vents d'Ouest à Sud-Ouest sont les plus fréquents dans la Manche, mais que les vents, moins fréquents, des secteurs Nord-Ouest à Nord-Est sont à peu près aussi intenses.

Ces dernières directions de vent exposent la côte du Calvados aux *clapots* qui sont pris en compte pour l'analyse des *concomitances* niveau extrême – houle extrême.

IV.3.2. Aléas de submersion marine

Pour caractériser l'aléa de submersion marine, un modèle hydrodynamique bidimensionnel⁶ a été utilisé. Ce modèle intègre la *bathymétrie*, la topographie côtière, et un phénomène de référence centennal, défini par des niveaux marins intégrant les états de la mer et les effets à court terme du réchauffement climatique (tab. 9). Les cours d'eau côtiers sont intégrés à ce modèle pour tenir compte des effets d'éventuels débordements induits par les conditions marines.

Le modèle a été testé et les paramètres ajustés à partir des observations effectuées lors de la tempête Xynthia. La reconstitution de la submersion observée lors de cette tempête a été jugée satisfaisante par le service instructeur qui a validé les hypothèses de modélisation.

5 Bateau phare situé à 50,4° de latitude et 0° de longitude, au large de Newhaven. On exploite une série de mesures de 13 années.

6 Logiciel (InfoWorks ICM, version 5.0) permettant de calculer les caractéristiques des écoulements (hauteurs d'eau et vitesses d'écoulements) à partir de divers paramètres (rugosité, débits) en utilisant les lois de l'hydraulique.

La caractérisation de l'aléa de submersion marine est complétée par la prise en compte des *chocs mécaniques* et des dispositifs de protection connus lors de l'élaboration du PPRL.

Remarque. La période de retour du phénomène de référence ne correspond pas à la combinaison de phénomènes de même période de retour. Le phénomène de référence pour la submersion centennale ne correspond pas à un niveau marin centennal conjugué à un état de la mer centennal. Une telle combinaison correspond à une submersion marine plus rare (période de retour très supérieure à 100 ans). Il existe théoriquement une infinité de combinaison de niveaux marin et d'état de la mer correspondant à des conditions de submersion centennale.

IV.3.2.1. Bathymétrie et topographie

La modélisation nécessite une connaissance détaillée de la *bathymétrie* et de la topographie. La principale source d'information utilisée est la base de données Litto3D de l'institut géographique nationale (IGN) qui fournit un modèle numérique de terrain détaillé (maille métrique). Ces données ont été utilisées pour construire le maillage de calcul du modèle hydraulique.

IV.3.2.2. Niveau marin de référence

Le niveau marin de référence est obtenu, par tronçon homogène, en ajoutant au niveau marin centennal Z, qui correspond à la marée astronomique augmentée d'une *surcote atmosphérique*, la surcote liée à la houle et l'élévation de 0,20 m pour la prise en compte du réchauffement climatique (tab. 3). Les données correspondant aux scénarios de référence et à échéance 100 ans sont présentées respectivement dans les tableaux 9 et 10.

La surcote liée à la houle (*set-up de houle*) a été calculée par modélisation [3] à partir des hypothèses issues des analyses statistiques [2]. Cette surcote de houle est prise en compte uniquement le long des plages, et non dans les zones de grande profondeur.

Tableau 9 : Niveaux marins du scénario de référence.

N°	Commune	Nom	Niveau marin	Set-up de houle	Élévation climatique	Niveau de référence
1	Cabourg – Dives/M	Embouchure de la Dives	4,88 m	0,00 m	0,20 m	5,08 m
2	Cabourg	Dune de la Pointe de Cabourg	4,88 m	0,21 m	0,20 m	5,29 m
3	Cabourg	Remblai de Cabourg	4,83 m	0,21 m	0,20 m	5,24 m
4	Varaville Franceville-Merville-Plage	Cordon dunaire de Varaville et Franceville-Merville-Plage	4,73 m	0,20 m	0,20 m	5,13 m

Tableau 10 : Niveaux marins du scénario à échéance 100 ans.

N°	Commune	Nom	Niveau marin	Set-up de houle	Élévation climatique	Niveau de référence à 100 ans
1	Cabourg – Dives/M	Embouchure de la Dives	4,88 m	0,00 m	0,60 m	5,48 m
2	Cabourg	Dune de la Pointe de Cabourg	4,88 m	0,21 m	0,60 m	5,69 m
3	Cabourg	Remblai de Cabourg	4,83 m	0,21 m	0,60 m	5,64 m
4	Varaville Franceville-Merville-Plage	Cordon dunaire de Varaville et Franceville-Merville-Plage	4,73 m	0,20 m	0,60 m	5,53 m

IV.3.2.3. Dimension temporelle de l'analyse

La modélisation est effectuée pour une durée couvrant trois cycles de marées, avec le niveau marin maximal pour la haute mer du second cycle (fig.11).

Cette dimension temporelle est importante, car elle permet la prise en compte des phases de remplissage et de vidange successives des zones submersibles.

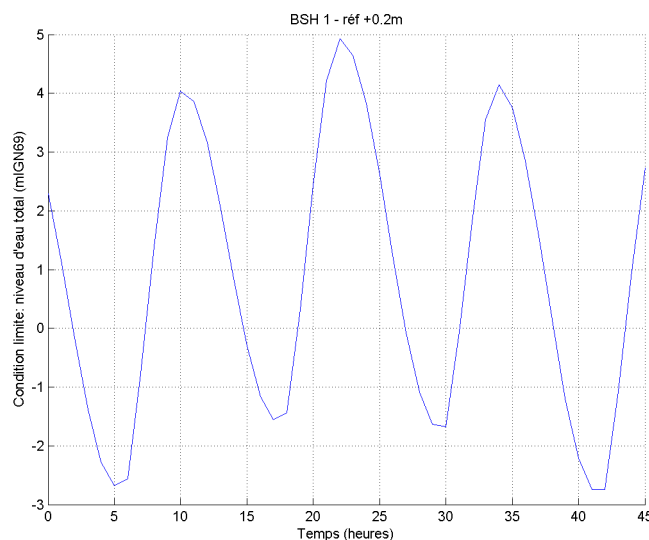


Figure 11 : Niveau marin pour le scénario de référence (trois cycles de marée).

IV.3.2.4. apports fluviaux

Les niveaux marins élevés peuvent gêner les écoulements dans les cours d'eau côtiers et ainsi provoquer le débordement de ces cours d'eau. Ces débordements contribuent à la submersion marine et ils doivent donc être pris en compte lors de l'analyse de la submersion marine.

Ces cours d'eau sont donc intégrés au modèle comme élément topographique et hydraulique (ouvrages hydrauliques, ouvrages de protection, débit). Les débits retenus sont les débits instantanés des crues annuelles. Ces débits ont donc 99 % de chances de ne pas être dépassés chaque année. Ils sont déterminés à partir des mesures disponibles ou, à défaut, d'une estimation reposant sur une étude hydrologique spécifique. Ces débits sont utilisés pour tous les scénarios étudiés.

Dans la zone étudiée, la Dives a été prise en compte selon cette méthode et un débit de 25 m³/s⁷ a été utilisé.

IV.3.2.5. Prise en compte des ouvrages de protection et de leur défaillance

a. Définition des ouvrages de protection

Un *système complet de protection* est un système cohérent du point de vue hydraulique pour la protection effective des populations situées dans la zone protégée. Il peut comprendre un système de digues (c'est-à-dire des digues de premier et de second rang), des structures naturelles (cordons dunaires ou cordons de galets) et les ouvrages « maritimes » contribuant à leur maintien (type brise-lames, épis, etc.), éventuellement combinés, ainsi que les dispositifs de drainage, de stockage et d'évacuation des eaux.

Les digues sont des constructions humaines dont la vocation principale est de faire obstacle à l'écoulement et de limiter les entrées d'eau sur la zone protégée [6].

b. Méthodologie

La méthodologie retenue au niveau national, définie par le guide méthodologique pour l'élaboration des PPR [6], comporte d'une part des hypothèses d'effacement des ouvrages de protection et d'autre part des hypothèses de brèches pour tous les ouvrages de protection identifiés.

Cette approche repose sur deux principes fondamentaux :

1. une zone protégée par une digue reste une zone inondable (circulaire du 30 avril 2002, relative à la politique de l'État en matière de *risques* naturels prévisibles et de gestion des espaces situés derrière les digues de protection contre les inondations et les submersions marines) ;
2. aucun ouvrage ne peut être considéré comme infaillible, quelles que soient ses caractéristiques.

Tous les ouvrages de protection sont conçus et réalisés pour protéger des *enjeux* contre un phénomène d'ampleur définie (crue décennale ou centennale par exemple). Des phénomènes plus intenses sont toujours possibles et le comportement des ouvrages ne peut pas alors être garanti : non seulement l'ouvrage peut s'avérer insuffisant, mais il peut subir des dommages – voire être détruit – et ainsi aggraver les effets du phénomène naturel. C'est notamment le cas pour les digues qui se rompent.

7 Débit inter-annuel moyen calculé à partir des données mesurées à Saint-Pierre-du-Jonquet, 15 km en amont de la zone d'étude.

c. Effacement des ouvrages

L'hypothèse d'effacement des ouvrages correspond à leur suppression dans les données topographiques utilisées pour la modélisation de la submersion marine. La submersion marine est modélisée dans une situation théorique dans laquelle les digues existantes sont arasées à la cote du terrain naturel à l'arrière des ouvrages. Une cartographie informative est produite à partir de ces résultats.

d. Prise en compte de la formation de brèches

La démarche mise en œuvre est résumée par la figure 12. Cette démarche dépend de la disponibilité d'étude de danger relative aux ouvrages de protection.

Une étude de danger définit le comportement de la digue pour l'évènement de référence, deux cas sont envisagés :

- si l'ouvrage peut résister au phénomène de référence, une brèche de 50 m est considérée dans le tronçon concerné ;
- si l'ouvrage ne résiste pas au phénomène de référence, au moins une brèche de 100 m est considérée pour le tronçon concerné.

En l'absence d'étude de danger, la *surverse* pour l'évènement de référence est évaluée. Si cette *surverse* est supérieure à 0,2 m, on prendra en compte une *ruine généralisée* de l'ouvrage ; dans le cas contraire, on prendra en compte une brèche de 100 m.

Ce choix s'explique par la forte probabilité de dégradation de l'ouvrage en cas de *surverse* significative (érosion et affouillement par la lame d'eau débordante).

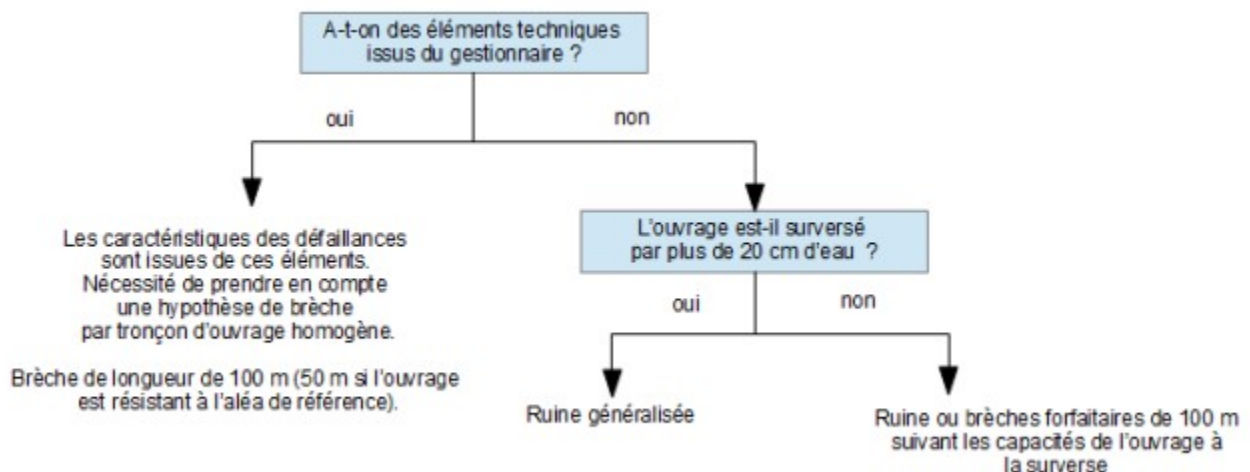


Figure 12 : Définition des hypothèses de brèches pour les digues.

Au terme des études techniques spécifiques [4] et de la concertation avec collectivités concernées, un ensemble d'hypothèses de brèches a été défini pour être intégré aux scénarios de référence.

Ces hypothèses sont les suivantes pour les digues fluviales de la Dives :

- 2 brèches de 100 m sont définies sur la rive droite de la Dives (D1, D2) et se forment à partir d'une heure avant le pic de la tempête.
- 3 brèches de 100 m sont définies sur la rive gauche (C1, C2, et C5) et se forment à partir d'une heure avant le pic de la tempête.

Ces hypothèses sont également retenues pour le scénario à échéance 100 ans.

Les brèches et les ouvrages concernés sont identifiés sur la carte de localisation (fig. 13). Les indices alphanumériques (C1, C2, etc.) utilisés dans les paragraphes suivants font référence à cette carte.

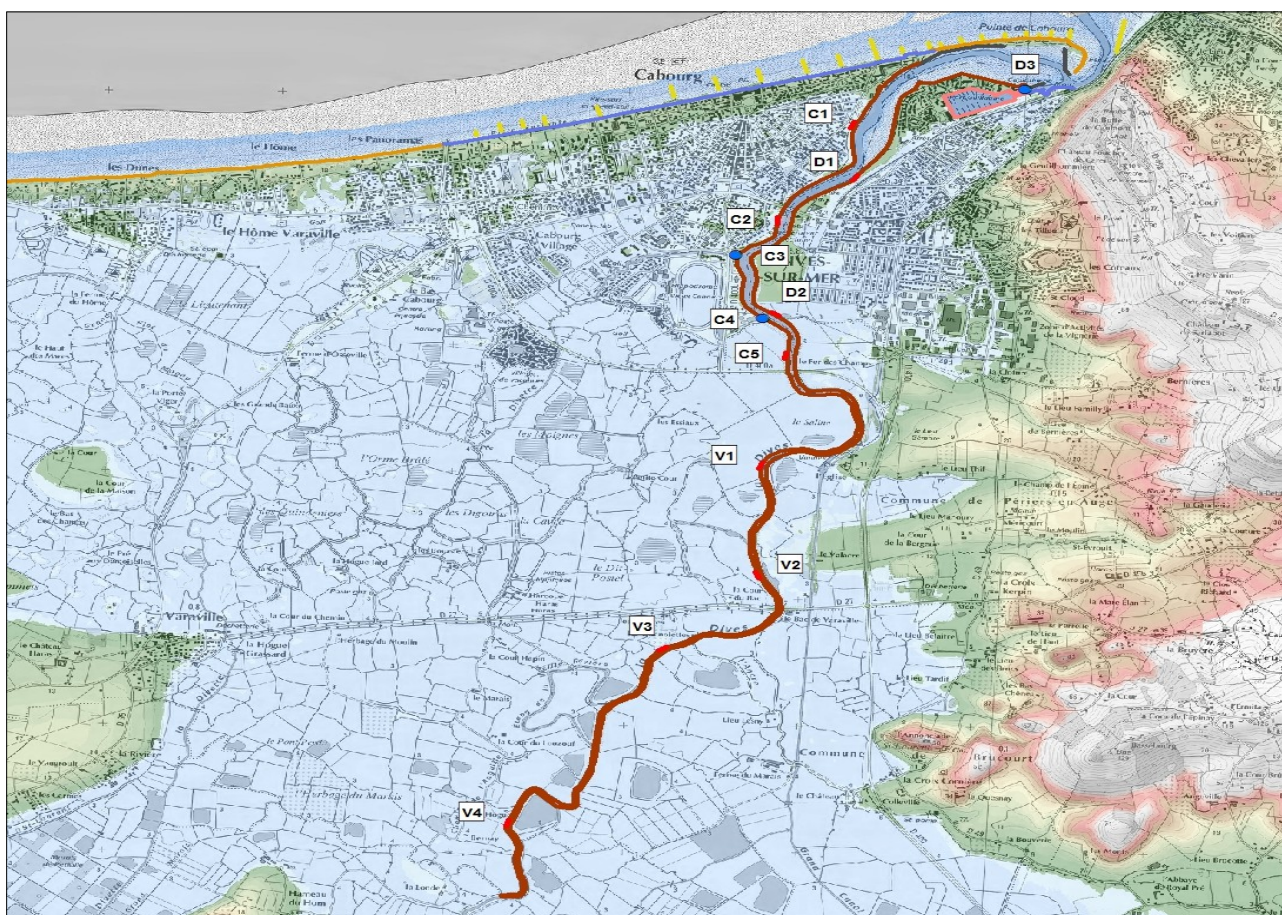


Figure 13 : Localisation des brèches et des ouvrages défaillants pris en compte.

e. Défaillance des ouvrages hydrauliques annexes

Divers aménagements hydrauliques (portes à flots, clapets anti-retour, vannes, etc.) équipent les ouvrages et les infrastructures de la zone d'étude. La modélisation nécessite de définir le fonctionnement de ces ouvrages pour les scénarios étudiés. Les hypothèses retenues sont récapitulées dans le tableau 11.

Tableau 11 : Hypothèses de modélisation des ouvrages hydrauliques annexes.

Ouvrage hydraulique	Hypothèse de modélisation
Vannes de la Divette (C3)	Défaillantes pour le scénario de référence (ouvertes)
Vannage de l'hippodrome (C4)	Rupture 1 heure avant le pic de la tempête

Les mêmes hypothèses sont retenues pour le scénario à échéance 100 ans.

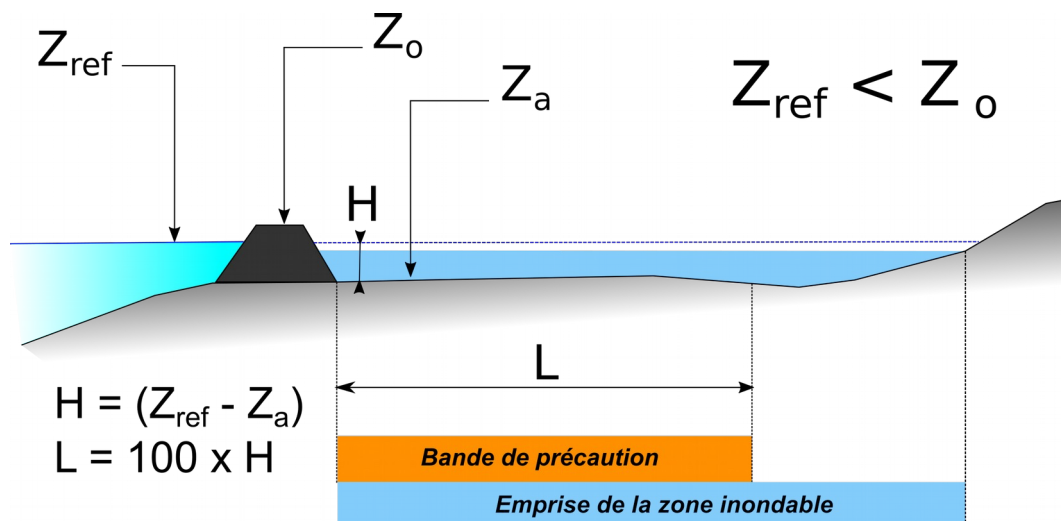
f. Bandes de précaution

Les brèches permettent d'apprécier les effets d'une défaillance en termes d'extension de la zone concernée par la submersion marine. La dynamique particulière (forte vitesse d'écoulement, forte hauteurs d'eau locales, entraînement de matériaux, etc.) des écoulements à hauteur des brèches ou des points de rupture d'un ouvrage de protection doit également être prise en compte.

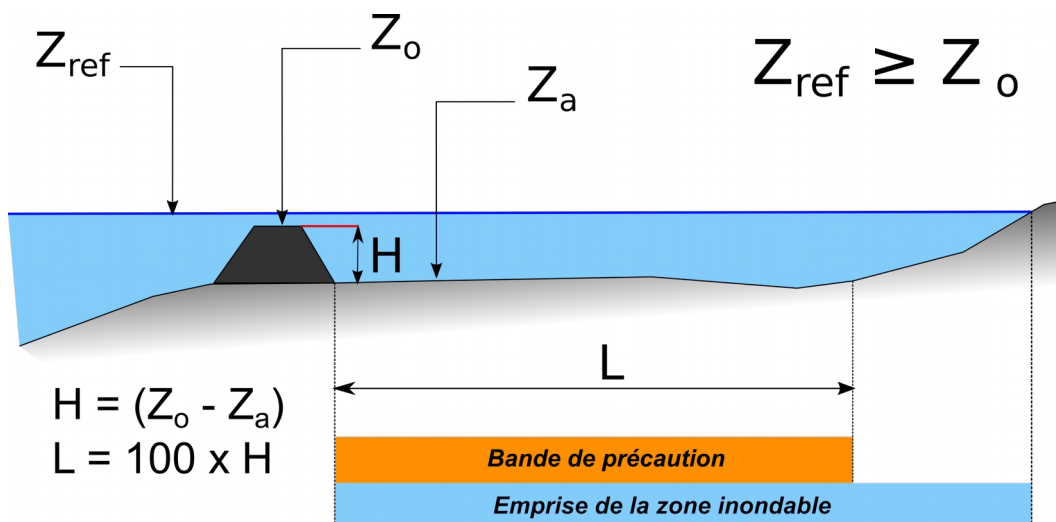
On détermine donc, à l'arrière des ouvrages de protection, des bandes réputées exposées aux effets de cette dynamique particulière. Ces bandes sont appelées bandes de précaution (BDP). La largeur des bandes de précaution est définie selon les directives nationales et les recommandations du guide méthodologique pour l'élaboration des PPRL [6]. Par définition, l'aléa est fort dans l'emprise des bandes de précaution.

La largeur de la bande de précaution est calculée selon les principes suivants:

- Si la cote de la crête de l'ouvrage (Z_o) est supérieure à la cote de référence (Z_{ref}), la largeur de la bande de précaution (L) est égale à 100 fois la hauteur H entre la cote de référence (Z_{ref}) et la cote à l'arrière de l'ouvrage (Z_a).

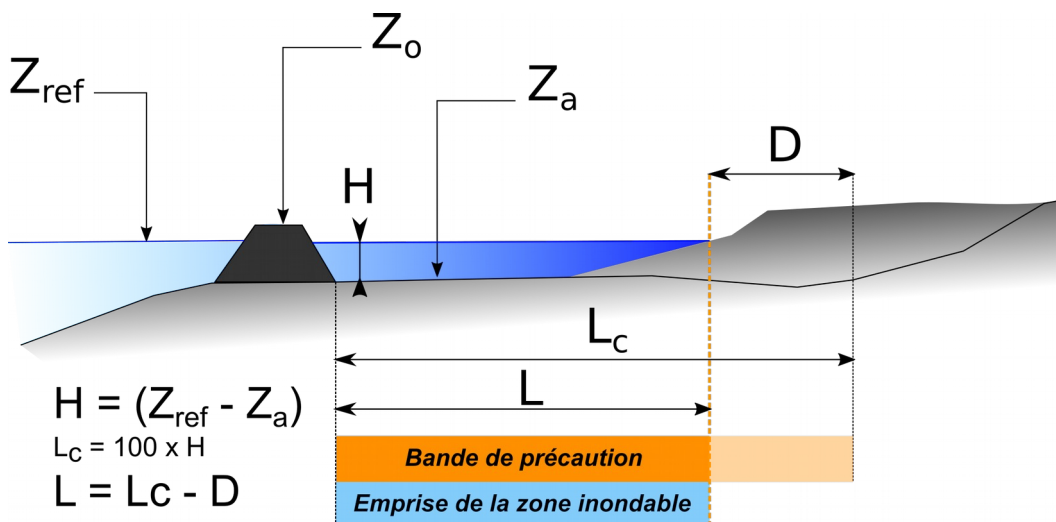


- Si la cote de la crête de l'ouvrage (Z_o) est inférieure à la cote de référence (Z_{ref}), la largeur de la bande de précaution (L) est égale à 100 fois la hauteur H entre la crête de l'ouvrage (Z_o) et la cote à l'arrière de l'ouvrage (Z_a).



Deux règles complémentaires sont prises en compte dans la détermination de la largeur des bandes de précaution :

- La largeur minimale de la bande de précaution est de 50 m, quelle que soit la largeur théorique calculée selon les principes généraux.
- La bande de précaution est limitée à la zone située sous la cote de référence, quelle que soit sa largeur théorique. La bande de précaution ne peut donc concerner des secteurs dont l'altitude est supérieure à la cote de référence.



Compte-tenu de ces principes de détermination de la largeur de la bande de précaution, il est possible que les largeurs soient identiques pour des cotes de référence ou des cotes de crêtes d'ouvrages différentes.

Exemple :

Cas d'une digue dont la crête est située à 5,0 m ($Z_0 = 5,0$) d'altitude qui protège une zone dont l'altitude est de 3,0 m ($Z_a = 3,0$) :

- Pour une cote de référence de 6,0 m ($Z_{ref} = 6,0$), la largeur de la bande de précaution sera de **200 m**.

$$L = 100 \times (5 - 3) = 200 \text{ m}$$

- Pour une cote de référence de 4,5 m ($Z_{ref} = 4,5$), la largeur de la bande de précaution sera de **150 m**.

$$L = 100 \times (4,5 - 3) = 150 \text{ m}$$

- Pour une cote de référence de 3,2 m ($Z_{ref} = 3,2$), la largeur de la bande de précaution sera de **50 m**.

$$L = 100 \times (3,2 - 3) = 20 \text{ m. Cette valeur est inférieure à 50 m, on retient donc 50 m}$$

Les caractéristiques des digues et les largeurs des bandes de précautions retenues pour le PPRL de l'estuaire de la Dives sont récapitulées dans les tableaux 12 (scénario de référence) et 13 (scénario à échéance 100 ans). La figure 1 localise les digues et les bandes de précaution associées.

Tableau 12 : Largeurs de la bande de précaution (BDP) pour le scénario de référence.

Localisation*	Cote ouvrage** (Zo)	Cote de référence** (Zref)	Cote à l'arrière de l'ouvrage** Za	Largeur BDP (L)	Largeur effective***
1	4,7	5,0	4,3	50,0 m	50,0 m
2	4,8	4,8	4,4	50,0 m	50,0 m
3	4,1	4,6	3,6	50,0 m	50,0 m
4a	4,8	4,8	4,0	80,0 m	80,0 m
4b	5,0	4,8	3,8	100,0 m	100,0 m
5	4,5	4,7	2,7	180,0 m	180,0 m
6	4,5	4,6	3,2	130,0 m	130,0 m
7	3,9	4,6	3,1	80,0 m	80,0 m
8	4,3	4,6	3,2	110,0 m	110,0 m
9a	3,8	4,6	2,5	130,0 m	50 à 130 m
9b	4,0	4,6	3,5	50,0 m	50,0 m
10a	4,3	4,6	3,5	80,0 m	50 à 80 m
10b	4,3	4,6	3,8	50,0 m	50,0 m
11	4,5	4,6	3,8	70,0 m	70,0 m
12	4,0	4,6	3,0	100,0 m	100,0 m
13	4,8	4,7	3,4	130,0 m	130,0 m
14	4,9	4,7	2,8	190,0 m	190,0 m
15	5,2	5,0	4,1	90,0 m	70 m à 90 m
* la localisation fait référence à la carte de la figure 1					
** altitudes moyenne du terrain dans le système GN69					
*** largeurs portées sur la carte en tenant compte des contraintes topographiques					

Tableau 13 : Largeurs de la bande de précaution (BDP) pour le scénario à échéance 100 ans.

Localisation*	Cote ouvrage** (Zo)	Cote de référence** (Zref)	Cote à l'arrière de l'ouvrage** Za	Largeur BDP (L)	Largeur effective***
1	4,7	5,3	4,3	50,0 m	50,0 m
2	4,8	5,0	4,4	50,0 m	50,0 m
3	4,1	4,7	3,6	50,0 m	50,0 m
4a	4,8	5,0	4,0	80,0 m	80,0 m
4b	5,0	5,0	3,8	120,0 m	120,0 m
5	4,5	4,9	2,7	180,0 m	180,0 m
6	4,5	4,8	3,2	130,0 m	130,0 m
7	3,9	4,7	3,1	80,0 m	80,0 m
8	4,3	4,7	3,2	110,0 m	110,0 m
9a	3,8	4,7	2,5	130,0 m	50 à 180 m
9b	4,0	4,7	3,5	50,0 m	50,0 m
10a	4,3	4,6	3,5	80,0 m	50 à 80 m
10b	4,3	4,6	3,8	50,0 m	50,0 m
11	4,5	4,7	3,8	70,0 m	70,0 m
12	4,0	4,7	3,0	100,0 m	100,0 m
13	4,8	4,9	3,4	140,0 m	140,0 m
14	4,9	5,0	2,8	210,0 m	210,0 m
15	5,2	5,3	4,1	110,0 m	110,0 m
<p>* la localisation fait référence à la carte de la figure 1 ** altitudes IGN69 *** largeurs portées sur la carte en tenant compte des contraintes topographiques</p>					

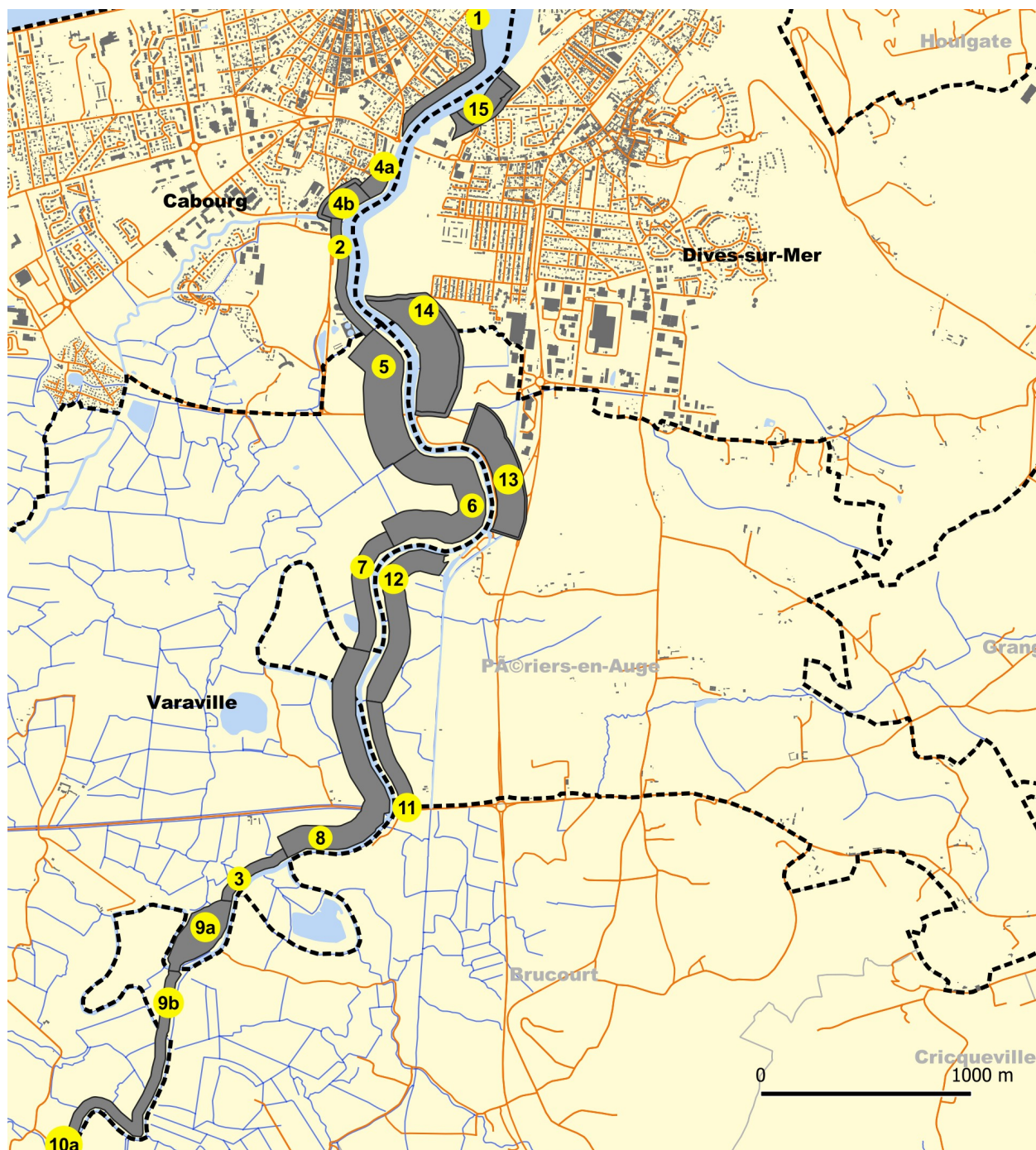


Figure 14: Localisation des bandes de précaution.

IV.3.2.6. Zones exposées aux chocs mécaniques

Les zones considérées comme exposées à des franchissements par paquets de mer, aux chocs des vagues ou à des projections (eau, galets, flottants, etc.) sont définies en fonction des informations relatives aux tempêtes passées [1] et aux résultats d'une modélisation spécifique [3], qui permet de déterminer un débit unitaire de franchissement. Ce débit unitaire correspond au volume d'eau susceptible de franchir un dispositif de protection sur une largeur de 1 m chaque seconde ; il s'exprime en litre par mètre et par seconde (l/m/s).

La largeur de la bande exposée aux *chocs mécaniques* (BCM) est déterminée en fonction des phénomènes passés et des débits de franchissement calculés, selon les règles du guide EurOtop 2007 [5] résumées dans le tableau 14. L'aléa est fort dans toute l'emprise de la bande de *choc mécanique*.

Tableau 14 : Détermination de la largeur des bandes de chocs mécaniques.

Historique pour ce phénomène	Débits de franchissement (Qf)			
	Non calculé	Qf ≤ 0,1 l/m/s	0,1 < Qf ≤ 50 l/m/s	Qf > 50 l/m/s
		franchissement négligeable	Qf faible, effet local	Qf important, effet généralisé
Oui	25 m	25 m	25 m	50 m
Non	Pas de BCM	Pas de BCM		

Les débits sont calculés, dans les conditions de mer correspondant au scénario de référence, pour les valeurs maximales de niveau marin et de la houle. Dans l'estuaire de la Dives, aucune zone n'est considérée comme exposée à un aléa de *chocs mécaniques*.

IV.3.2.7. Qualification de l'aléa de submersion marine

À partir des résultats de la modélisation hydrodynamique, une cartographie de l'aléa a été établie et transcrite sur un fond cartographique cadastral à l'échelle 1/5 000. Cette cartographie distingue quatre classes d'aléa établies selon des critères de hauteur d'eau et de vitesses d'écoulement dans la zone submergée (fig. 15).

Aléa submersion marine		Vitesse de l'écoulement		
		V < 0,2 m/s	0,2 < V < 0,5 m/s	V > 0,5 m/s
Hauteur d'eau	H < 0,5 m	Faible	Moyen	Fort
	0,5 < H < 1 m	Moyen	Moyen	Fort
	H > 1 m	Fort	Fort	Très fort

Figure 15 : Définition de l'aléa de submersion marine.

La description détaillée des zones exposées à l'aléa de submersion marine a fait l'objet d'un rapport spécifique [3] qui présente les résultats pour tous les scénarios étudiés. Les éléments relatifs au scénario de référence et au scénario à échéance de 100 ans sont résumés dans les chapitres suivants et les cartes d'aléas correspondantes sont annexées à cette note de présentation (carte hors texte⁸).

⁸ Les cartes réduites sont présentées dans cette note à titre d'illustration. Seules les cartes annexées peuvent être utilisées pour l'évaluation de l'aléa.

a. L'aléa pour le scénario de référence

Sur le secteur de la Dives, des brèches par *surverses* (D1 et D2 sur la rive droite ; C1, C2 et C5 sur la rive gauche) sont à l'origine de la submersion au niveau de la pointe de Cabourg et l'aléa y est très fort. Par ailleurs, la présence de vannes de la Divette (C3) au point de rejet dans la Dives accentue cette submersion. En effet, supposées défaillantes, elles s'ouvrent 1 h avant le pic de tempête lors de la simulation et permettent ainsi la pénétration de l'eau de mer dans les marais de la Divette. Le deuxième système de vannage (C4), également simulé comme défaillant, est responsable d'une pénétration d'eau importante, de même que les portes du port Guillaume (D3).

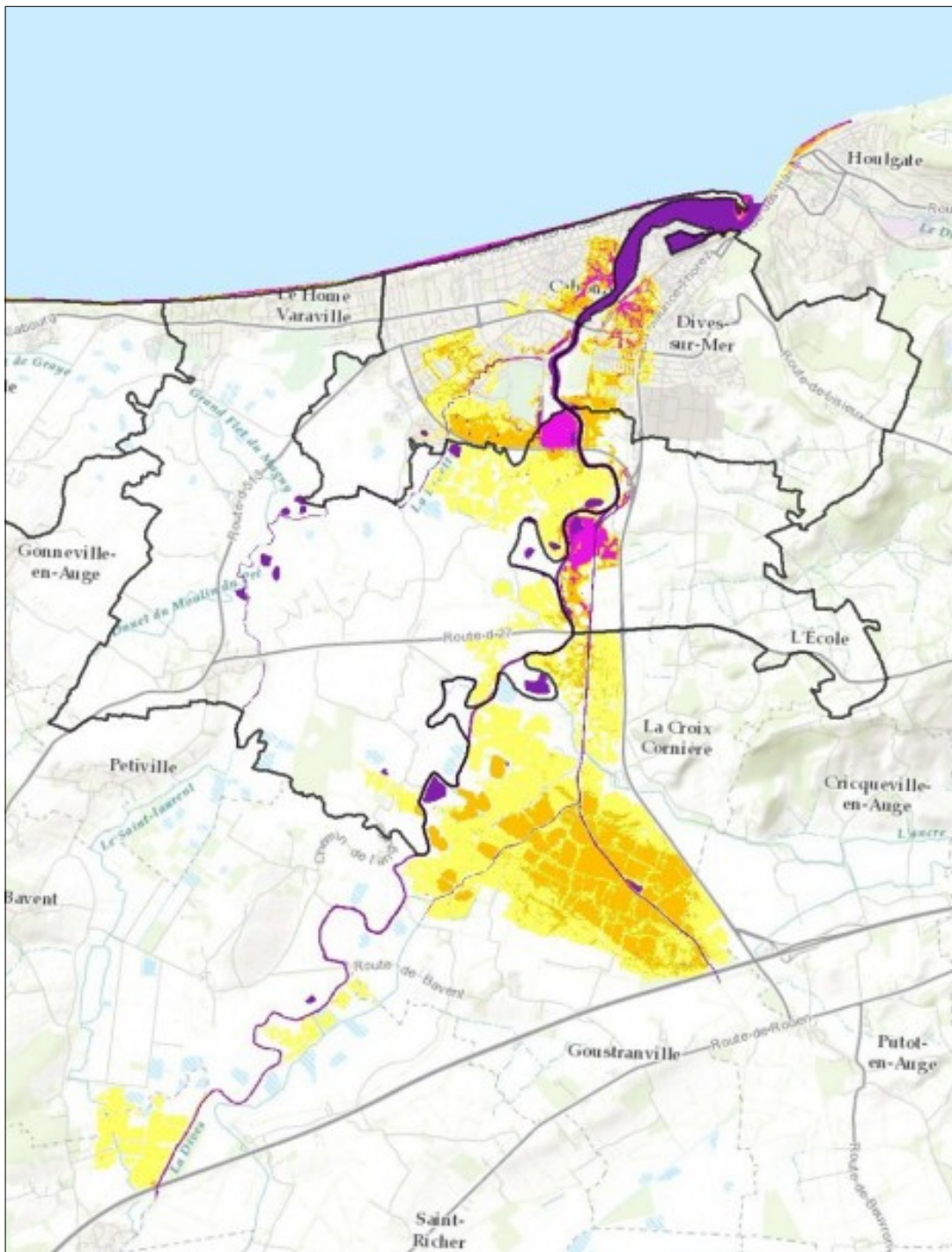
La commune de Cabourg est touchée par l'aléa de submersion moyen à fort au niveau du centre-ville. L'enveloppe de submersion s'étend le long de l'avenue de la République (limite ouest) et s'arrête à l'avenue du Roi Albert 1^{er} (limite nord). Le reste de la commune est impacté par un aléa de submersion faible à modéré qui concerne notamment la zone basse située entre la RD513 et la D400B et qui comprend l'hippodrome du Vieux Cabourg. Les entrées d'eau se produisent au niveau de 3 brèches qui se succèdent du nord au sud :

- dans le centre-ville au bout de la rue du Port et de l'avenue Pasteur (point C1) ;
- au sud du pont de la D513 – (point C2) ;
- au nord du pont de la D400a et au sud de l'hippodrome (point C3).

La commune de Dives-sur-Mer est touchée par un aléa de submersion moyen à fort au niveau du centre-ville. Cet aléa concerne la plupart des zones construites situées sur la zone délimitée par la rue Sainte-Marguerite (limite nord), le quartier des Courlis (limite sud) et le boulevard Maurice Thorez (D400) à l'est.

L'aléa est fort dans le secteur autour de la D513 (avenue Pasteur), le long des berges de la Dives et de la rue de la Libération et de la rue Normandie-Niemen. Ceci est lié à l'entrée d'eau par la brèche D1. La brèche située en rive droite, au niveau de l'hippodrome de Cabourg, affecte les zones construites entre le quartier des Cités (au nord) et le quartier des Courlis (au sud) avec un aléa moyen à localement fort (rue Jean Goueslard).

La commune de Varaville n'est pas impactée par l'aléa de submersion. Il n'y a pas d'entrée d'eau, que ce soit par franchissement par paquets de mer, *surverse*, défaillance d'ouvrage hydraulique ou brèche.



Aléa débordement		Vitesse de l'écoulement		
		$V < 0,20$ m/s	$0,20 < V < 0,50$ m/s	$V > 0,5$ m/s
Hauteur d'eau	$H < 0,50$ m	Faible	Moyen	Fort
	$0,5 < H < 1$ m	Moyen	Moyen	Fort
	$H > 1$ m	Fort	Fort	Très fort

Figure 16 : Aléa de submersion pour le scénario de référence.

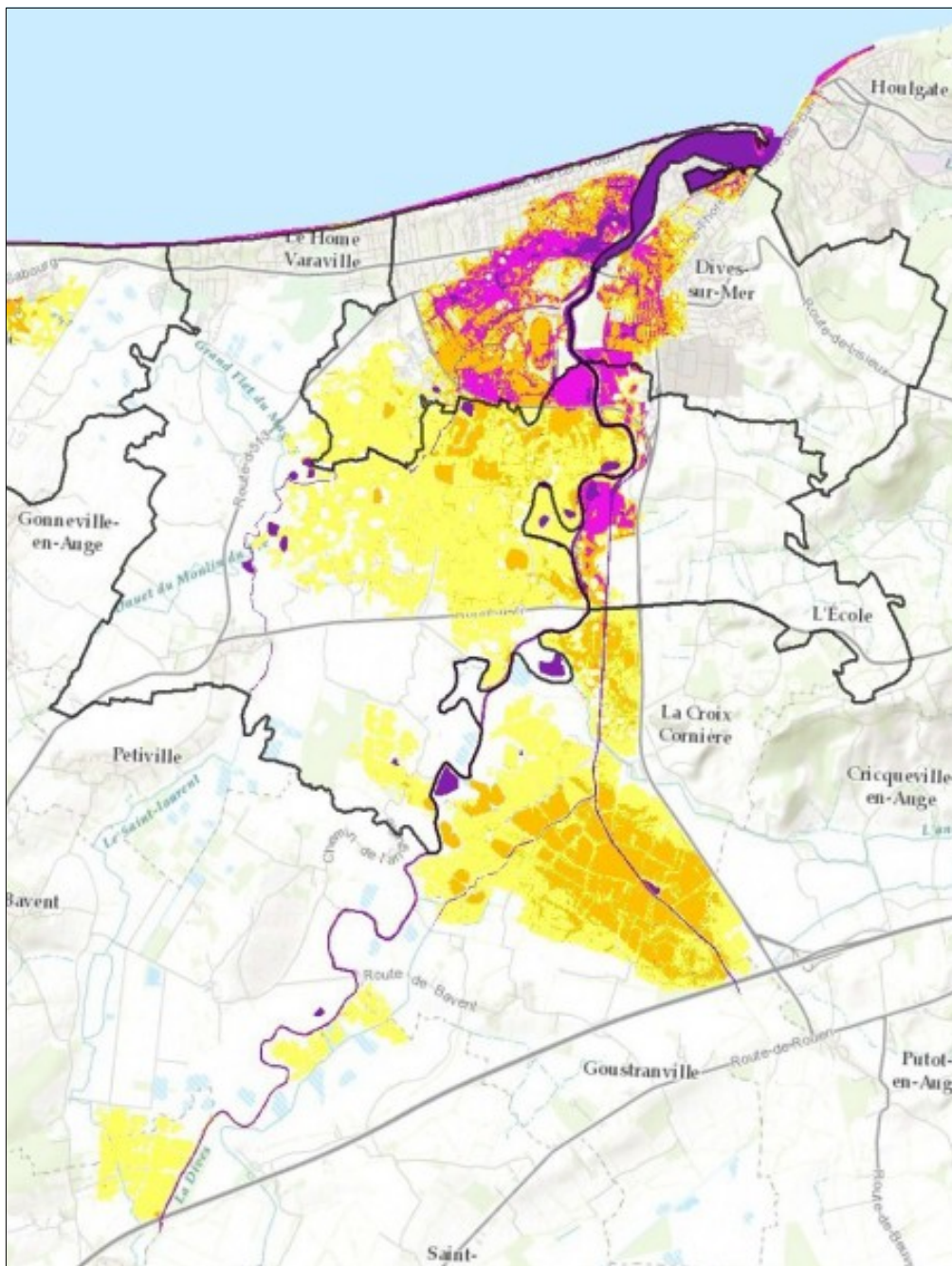
b. L'aléa pour le scénario à échéance 100 ans

De manière générale, les enveloppes de submersion pour ce scénario sont beaucoup plus étendues, et l'aléa est augmenté par rapport aux enveloppes du scénario de référence. La submersion impacte surtout Cabourg, Dives-sur-Mer et Varaville. Périers-en-Auge est également touchée dans la partie ouest.

La commune de Cabourg est quasiment entièrement submergée. Le degré d'aléa passe de moyen dans le scénario de référence (+0,20 m) à fort, voire très fort, dans le scénario à échéance 100 ans. L'eau pénètre par les brèches présentes sur la digue en terre (C1 et C2) et par le système de vannage au niveau de l'hippodrome (C4).

Sur la commune de Dives-sur-Mer, les enveloppes de submersion sont sensiblement plus étendues. Une *surverse* au niveau du bassin portuaire, non présente dans le scénario de référence, se traduit par un aléa moyen à fort au lieu de faible à moyen dans le scénario de référence.

Un changement significatif est observé sur la commune de Varaville où l'enveloppe de submersion est bien plus étendue dans ce scénario que dans le scénario de référence, et atteint la D513. L'eau pénètre par la brèche située immédiatement au nord du pont de la RD400a (C5). En termes d'intensité, l'aléa reste généralement faible et les *enjeux* impactés sur cette commune, limités.



Aléa débordement		Vitesse de l'écoulement		
		$V < 0,20$ m/s	$0,20 < V < 0,50$ m/s	$V > 0,5$ m/s
Hauteur d'eau	$H < 0,50$ m	Faible	Moyen	Fort
	$0,5 < H < 1$ m	Moyen	Moyen	Fort
	$H > 1$ m	Fort	Fort	Très fort

Figure 17 : Aléa de submersion pour le scénario à échéance 100 ans.

IV.4. L'érosion côtière

IV.4.1. La migration dunaire

Deux aspects de ce phénomène sont pris en compte pour l'élaboration du PPRL : l'érosion à moyen et long terme et les reculs instantanés durant les tempêtes. Ces manifestations de l'érosion côtière sont analysées selon des méthodologies spécifiques et aboutissent à une qualification de l'aléa d'érosion.

IV.4.1.1. Contexte morphologique

« Les dunes du Calvados prennent souvent la forme d'un cordon dunaire très bas et dégradé qui ne remplit plus son rôle régulateur et protecteur » [8]. Actuellement, le littoral du Calvados ne possède pas de grands ensembles dunaires en raison d'une forte pression anthropique, notamment la forte urbanisation depuis le XIX^e siècle, mais surtout depuis les années 1960.

« Le XIX^e siècle marque une étape importante dans l'évolution des systèmes dunaires calvadosiens » [7], au motif que les premières stations balnéaires et infrastructures associées ont été construites. « Les dunes littorales du Calvados ont connu une occupation mesurée et des aménagements légers au départ, puis une accélération assez nette après la Seconde Guerre mondiale et surtout après les années 1960 (« l'ère du béton »), une accélération qui trouve ses origines dans le développement de la société de consommation et le bond en avant du tourisme » [7].

IV.4.1.2. Caractérisation de l'aléa de migration dunaire

Une analyse globale, menée à partir des orthophotoplans de 1947, 1966, 1992 et 2009 [3] a permis d'analyser les évolutions du cordon dunaire sur cette période.

Les critères utilisés pour l'identification et la délimitation des dunes sont la végétation (présence de végétation spécifique sur les fronts de dunes) et la présence d'éléments tels que :

- des habitations et jardins clôturés sur les dunes, à moins qu'il y ait des signes clairs de progression de la végétation dunaire ;
- des étiers ou marais salants situés directement derrière la dune et qui sont généralement des points bas ;
- des zones de végétations plus denses ;
- des routes goudronnées, formant une barrière à la progression de la végétation dunaire.

Du fait de l'érosion et des interférences humaines, les dunes sont caractérisées par une densité importante d'ouvrages de protection. Aucun indice de migration dunaire n'a été identifié et l'aléa de migration dunaire est donc considéré comme négligeable sur la zone d'étude.

Un piétinement intensif et l'augmentation de la fréquentation des lieux associés au développement de pratiques de loisir mal adaptées (véhicules dans les dunes, plagiste dégradant la dune blanche, etc.) ont dégradé le système dunaire et appauvri sa végétation, conduisant par endroit à la disparition de toute végétation.

IV.4.2. L'érosion des côtes sableuses

Indépendamment des migrations dunaires, les côtes sableuses évoluent sous l'effet des courants et des tempêtes. La dynamique locale des côtes sableuses a été étudiée selon deux approches complémentaires :

- une analyse diachronique du trait de côte, réalisée à partir d'orthophotographies et des traits de côte historiques fournis par le CREC (Centre de recherches en environnement côtier) [3] ;
- une modélisation⁹ morphodynamique d'évolution du trait de côte [3].

L'aléa de recul du trait de côte à moyen et long terme a été caractérisé et qualifié à partir des éléments issus de ces deux approches.

IV.4.2.1. L'érosion moyenne à long terme

Les principaux résultats, obtenus par tronçons homogènes de la côte dans la zone d'étude, sont résumés dans le tableau 15.

Tableau 15 : Érosion moyenne à long terme des côtes basses et meubles.

Section	Localisation	Lit-pack	Étude diachronique			Synthèse
			1966-2009	1992-2009	TC CREC	
DOSH2	Dune de la Pointe de Cabourg	A	A	S	A	Stable
DOSH3	Perré de Cabourg	S	A	A	A	Stable
DOSH4	Cordon dunaire de Varaville – Franceville	S	-	S	A	Stable
E côte en érosion, ; S côte stable, A côte en accrétion						

IV.4.2.2. L'érosion ponctuelle

L'érosion ponctuelle pouvant être potentiellement causée par l'événement de référence est déterminée par modélisation [3]. Le modèle utilisé ne prend pas en compte l'effet des ouvrages de protection, mais permet de déterminer la position de la côte si aucun ouvrage n'était présent. On retient, pour chaque secteur étudié, le recul maximal obtenu pour les conditions correspond à deux scénarios (période de retour centennale avec un régime d'Ouest et avec un régime de Nord).

Le tableau 16 récapitule, par section homogène, les valeurs du recul maximal et les valeurs de recul moyen. C'est cette valeur moyenne qui est prise en compte pour la qualification de l'aléa d'érosion.

9 Modèle Litpack

Tableau 16 : Érosion ponctuelle et érosion moyenne pour l'événement de référence.

Section	Localisation	Érosion ponctuelle maximale	Recul moyen par section homogène
DOSH2	Dune de la Pointe de Cabourg	15,0 m	9,0 m
DOSH3	Perré de Cabourg	22,0 m	9,0 m
DOSH4	Cordon dunaire de Varaville – Franceville	17,0 m	5,0 m

Des reculs ponctuels, correspondant à l'érosion de la plage durant un événement ponctuel uniquement, existent notamment à Cabourg et Varaville. Il n'y a cependant pas de tendance à l'érosion à long terme. Les ouvrages de protection se situent en arrière du trait de cote et n'interfèrent donc pas avec ces reculs ponctuels qui affectent la zone située à l'aval de l'ouvrage.

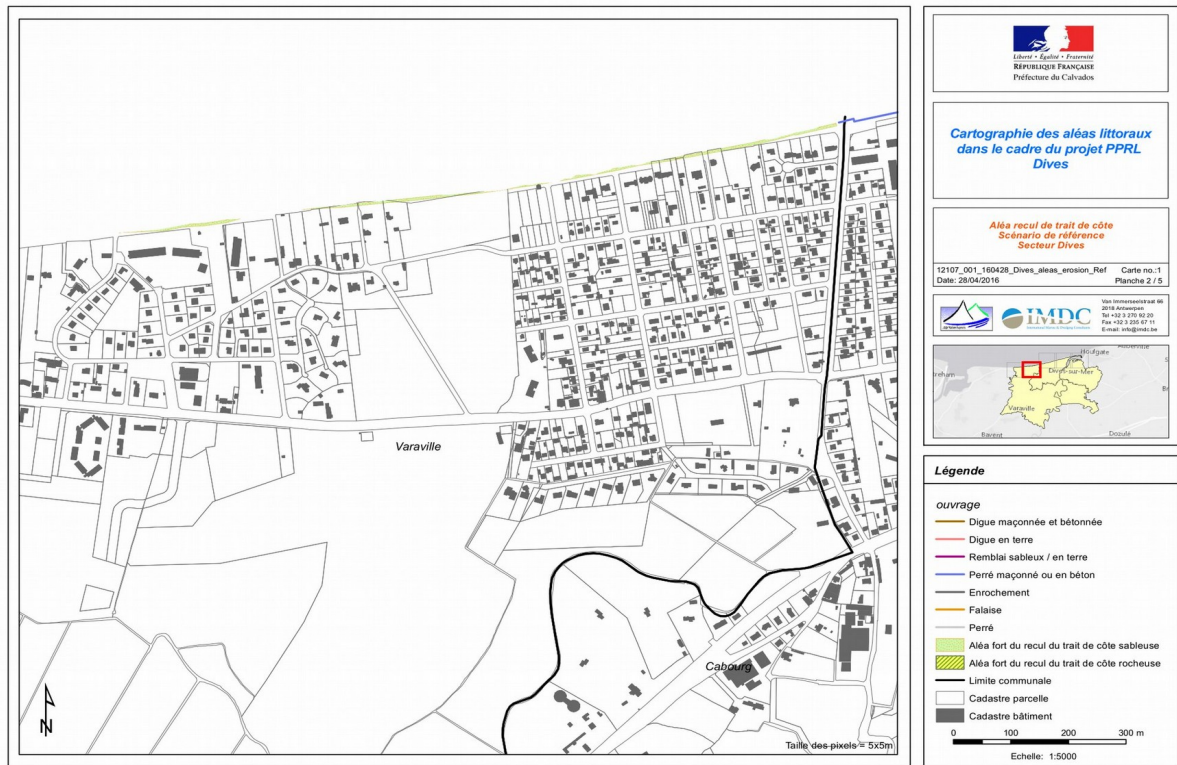


Figure 18 : Cartographie de l'aléa de recul du trait de côte à Varville.



Figure 19 : Cartographie de l'aléa de recul du trait de côte à Cabourg.

V. Les enjeux

La politique de prévention des *risques* naturels vise notamment à limiter l'extension des zones à *risques* et à réduire les *risques* dans les zones actuellement exposées. Pour le PPRL de l'estuaire de la Dives, cette stratégie de prévention des *risques* se traduit notamment par :

- des mesures de *mitigation* et de réduction de la *vulnérabilité* pour les projets dans les zones à *enjeux* exposées à un aléa ;
- des mesures strictes de limitation des implantations nouvelles dans des zones actuellement sans *enjeux* et exposées à un aléa.

La démarche d'élaboration des PPRN implique donc la définition et l'identification des zones à *enjeux* et des zones sans *enjeux* dans le périmètre du PPRN.

V.1. Définition

Les *enjeux* pris en compte correspondent à l'ensemble des personnes, des activités et des biens existants lors de l'élaboration du PPRN. Cette définition très large doit toutefois être nuancée et précisée pour permettre une analyse concrète à l'échelle de la zone étudiée.

L'identification des *enjeux* n'a en effet pas pour objectif d'établir une analyse exhaustive et détaillée du contexte socio-économique sur le territoire du PPRN. Elle ne vise pas non plus à fournir une évaluation de la *vulnérabilité* (cf. chapitre V.3).

V.2. Les enjeux dans le PPRL

Compte tenu des objectifs du PPRN et de ses modalités d'application, les *enjeux* sont essentiellement pris en compte au travers de l'occupation actuelle des sols et, de manière exceptionnelle, en intégrant des projets d'aménagement jugés essentiels pour les collectivités concernées (projets considérés comme structurants pour le territoire).

La carte des *enjeux* élaborée dans le cadre du PPRN a donc pour principal objectif de permettre de distinguer les zones actuellement urbanisées (au sens large de ce terme) des zones agricoles ou naturelles.

Remarque. Les notions de « zone urbanisée » ou de « zone non urbanisée » utilisées ici peuvent différer sensiblement des concepts similaires utilisés pour les documents d'urbanisme ou d'aménagement du territoire.

V.2.1. Typologie des enjeux

Quatre catégories principales d'occupation du sol ont été distinguées :

- les zones urbanisées ;
- les zones de projet structurants ;
- les zones de loisirs ;
- les zones naturelles et agricoles.

Comme détaillées dans le tableau 17, diverses sous-catégories ont été définies pour chaque catégorie principale afin de faciliter la définition de dispositions réglementaires adaptées.

Tableau 17 : Détail de la typologie de l'occupation du sol pour la cartographie des enjeux.

Catégorie	Sous-catégories
Zone urbanisée	Centre urbain
	Espace urbanisées
	Espace d'activités
	Cimetières
Zones de loisirs	Campings, parc résidentiels de loisirs, habitations légères de loisirs
	Terrains de sports
Zones naturelle et agricole	Construction isolée
	Espace agricole
	Espace naturel
	Surface en eau et eaux libres

V.2.2. Prise en compte des personnes

La présence de personnes potentiellement exposées aux phénomènes étudiés est prise en compte de manière implicite : elle est associée à la fréquentation des constructions (habitations, bâtiments industriels, etc.) mais ne fait pas l'objet d'une évaluation spécifique.

La présence possible de personnes isolées (promeneurs, usagers de routes, piétons en zone urbaine, etc.) ne constitue pas un enjeu au sens des PPRN et plus spécifiquement du PPRL de l'estuaire de la Dives.

V.2.3. Prise en compte des projets

Le principe général de prise en compte des *enjeux* est d'intégrer l'occupation du sol constatée lors des phases d'études du PPRL. Les zones dédiées à l'urbanisation future pouvant être identifiées dans les documents d'urbanisme existants (PLU) ne sont donc pas intégrées dans les *enjeux* du PPRL.

Par exception à ce principe général, certains projets devant être concrétisés à très court terme et pour lesquels les maîtres d'ouvrages et les financements sont clairement définis peuvent être pris en compte. Ces *enjeux* particuliers sont identifiés dans le cadre de la concertation.

V.2.4. Cartographie des enjeux

Les cartes des enjeux sont annexées à cette note de présentation

Le PPRL étant un document prioritairement dédié à l'aménagement du territoire et à l'urbanisme, la cartographie des *enjeux* est établie à l'échelle du plan de zonage réglementaire (1/5 000) et sur un fond cadastral.

Les *enjeux* ont été identifiés à partir des orthophotoplans 2012 (données les plus récentes disponibles lors des études techniques) et des reconnaissances de terrain. Les informations complémentaires collectées lors de la concertation ont été intégrées à la cartographie.

La figure 20 présente un extrait de la carte des *enjeux* Cabourg et Dives-sur-Mer. Les cartes des *enjeux* des communes concernées par le PPRL sont annexées à cette note de présentation (hors texte).

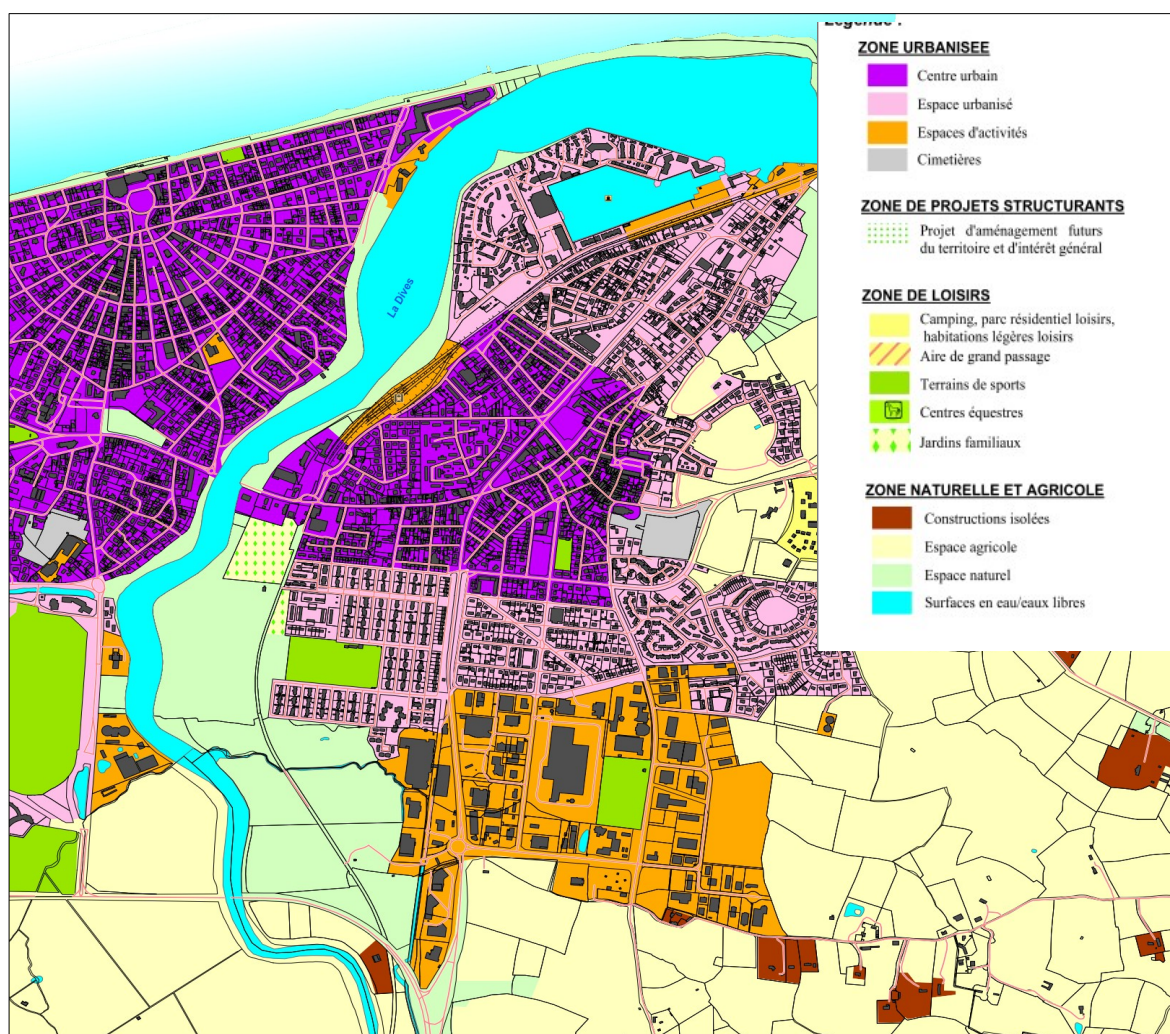


Figure 20 : Extrait de la carte des enjeux de Cabourg et Dives-sur-Mer.

V.3. La vulnérabilité dans le PPRL

La notion de *vulnérabilité* traduit la sensibilité d'un *enjeu* à un phénomène donné et les conséquences négatives de la survenance de ce phénomène sur les personnes et les biens. Son interprétation est complexe, chaque *enjeu* peut présenter une *vulnérabilité* spécifique en fonction de son usage, architecture, etc.

Les sites pouvant présenter une *vulnérabilité* particulière ont été identifiés et localisés à titre informatif. Ils ne sont en effet pas pris en compte de manière directe dans l'élaboration du plan de zonage réglementaire. Ils ont donc été répertoriés avec une approche simplifiée de manière non exhaustive.

Les sites peuvent en revanche contribuer à l'élaboration, par les collectivités concernées, des PCS dédiés à la gestion de crise.

V.3.1. Typologie pour l'analyse de la vulnérabilité

Les sites identifiés relèvent de quatre catégories :

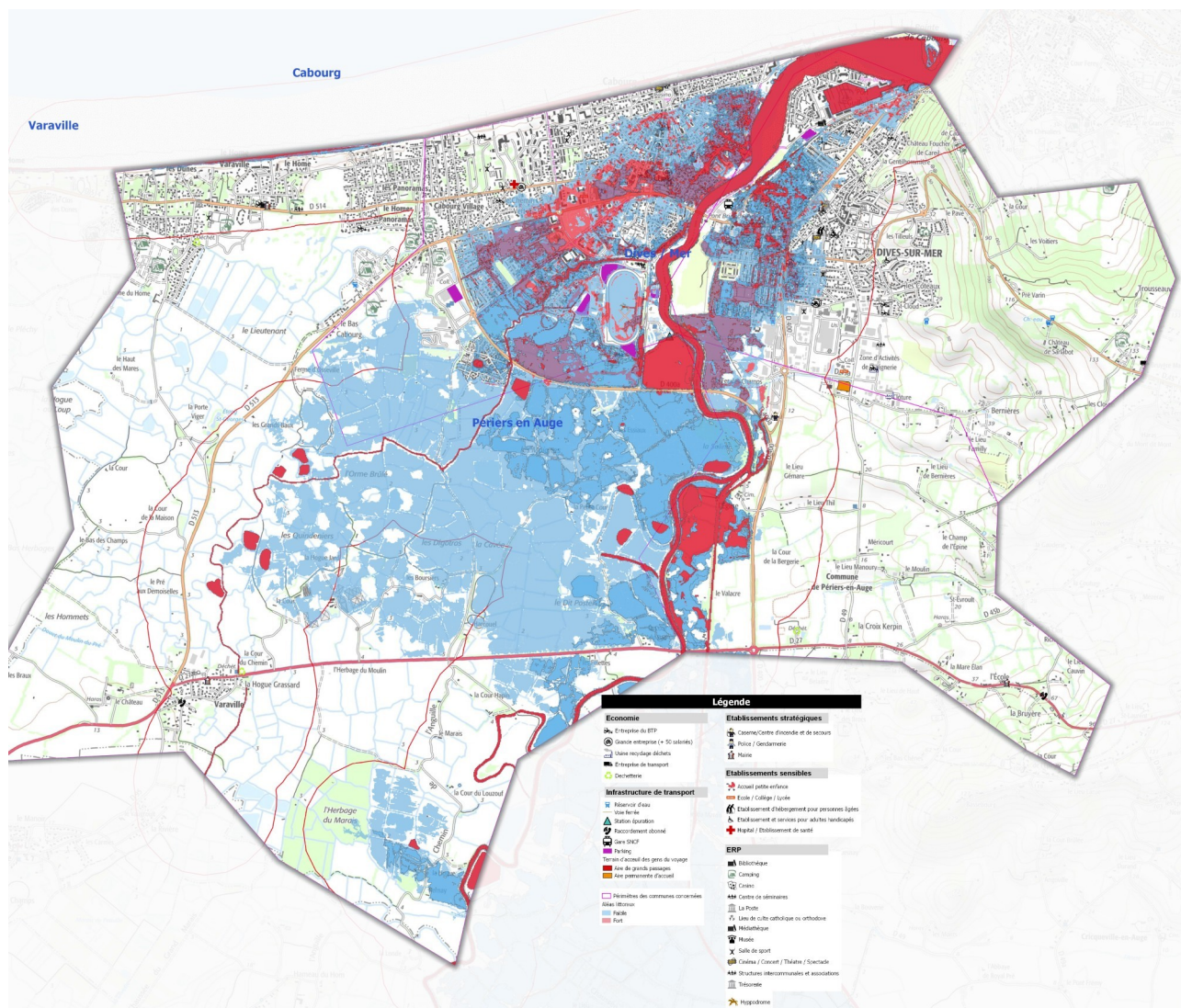
- les principaux établissements recevant du public (ERP) ;
- les ouvrages et équipements d'intérêt général ;
- les espaces publics ouverts ;
- les infrastructures de transport.

Le tableau 18 détaille ces catégories.

Tableau 18 : Détail de la typologie des sites vulnérables.

Catégorie	Sous-catégories
ERP	Édifices religieux
	Service public
	Loisirs et tourisme
Ouvrages et équipement d'intérêt général	Alimentation en eau potable
	Station d'épuration
	Transformateur électrique principal, raccordements Télécom
Etablissements stratégiques et sensibles	Services de secours, mairies Établissements scolaires, de soins, d'hébergement de personnes âgées
Infrastructures économiques	Entreprises BTP, transport et grandes sociétés (+50 salariés) Déchetteries

V.3.2. Cartographie de la vulnérabilité



VI. Élaboration du zonage réglementaire

Le zonage réglementaire et le règlement associé constituent le volet opposable aux tiers du PPRL après son approbation.

Le règlement définit les mesures de prévention et de protection applicables.

Le zonage réglementaire identifie les zones concernées par les divers règlements qui définissent les mesures de prévention et de protection applicables. Cette délimitation s'appuie sur la cartographie des *aléas* et sur la cartographie des *enjeux*.

VI.1. Principes généraux du zonage réglementaire

Les principes généraux de définition du zonage réglementaire sont résumés dans les tableaux 19 et 20. Ces principes définissent le type de zone réglementaire pour chaque aléa (nature et degré) et les diverses catégories d'*enjeux* identifiées (cf. chapitre V).

Tableau 19 : Définition du zonage réglementaire en fonction de l'occupation du sol et de l'aléa.

Nature de la zone d'enjeux	Scenario de référence T100+20	Scenario à échéance 100 ans – T100+60			
	Aléas	Nul	Faible	Moyen	Fort/Très fort
Non urbanisée	Nul	V	B1	RS	RS
	Faible		Rs		
	Moyen			Rs	
	Fort/Très fort				Rs
Zones d'activités sportives et d'hébergement, de plein air	Nul	V	O		
	Faible		O		
	Moyen			O	
	Fort/Très fort				Rs
Urbanisée hors centre urbain	Nul	V	B2		
	Faible		B1		
	Moyen			B1	
	Fort/Très fort				Rs
Urbanisée en centre urbain	Nul	V	B2		
	Faible		B2		
	Moyen			B2	
	Fort / Très fort				Rs

Nature de la zone d'enjeux	Scénario de référence T100+20	Scénario à échéance 100 ans – T100+60			
	Aléas	Nul	Faible	Moyen	Fort/Très fort
Système de protection	Tous aléas	J			

Tableau 20 : Définition du zonage réglementaire dans l'emprise des bandes de précaution et de chocs mécaniques.

Nature de la zone d'enjeux	Scénario de référence T100+20	Scénario à échéance 100 ans T100+60
Bande de précaution	Rs	B1

VI.2. Adaptations ponctuelles

Des adaptations ponctuelles sont apportées au zonage réglementaire pour tenir compte de diverses contraintes de représentation et d'exploitation des documents :

- suppressions de petites zones (surface inférieure à 100 m²) correspondant à des variations locales de l'aléa, liées aux limites des modèles utilisés et aux données topographiques, concernant des zones homogènes du point de vue des enjeux (notamment dans l'emprise des voiries et dans les zones naturelles) ;
- lissage des contours pour ajuster les limites de zones sur des limites ayant une signification en termes d'urbanisme (emprise de voirie, parcelles cadastrales). Ces ajustements portent sur des variations n'excédant pas quelques mètres de la position des limites issues de la cartographie des aléas.

VI.3. Principes du règlement des différentes zones du PPRL de l'estuaire de la Dives

Le territoire du PPRL est partiellement recouvert par les différentes zones réglementaires suivantes :

Les **zones rouges indicées en Rs** (submersion) et **Re** (érosion). Elles sont inconstructibles à l'exception de certains cas particuliers. Le règlement sur ces zones vise à :

- préserver la fonction de stockage et de ralentissement des écoulements et ce, afin de ne pas augmenter les effets de l'aléa de submersion sur les zones urbanisées voisines,
- éviter l'apport de population nouvelle,
- ne pas aggraver la *vulnérabilité* de la population existante.

Les zones bleues indicées en B1 et B2 :

Le règlement de ces zones vise à :

- admettre l'apport de population nouvelle,
- ne pas aggraver la *vulnérabilité* * de la population résidente,
- permettre la densification et le renouvellement urbain.

Les zones oranges (O) :

Le règlement de ces zones vise à :

- ne pas aggraver la *vulnérabilité* de la population utilisatrice de ces espaces,
- permettre la gestion de l'existant et la création d'espaces destinés à ces destinations compatibles avec les *risques* identifiés.

Les **zones jaunes (J)** comprennent tous les secteurs situés au-dessus de la cote de référence constituant en tout ou partie un *système de protection* contre la submersion.

Les **zones vertes (V)** comprennent les secteurs situés sous la cote de référence non impactés par un aléa de submersion.

VII. Bibliographie et références

- [1] Alp'Géorisques & IMDC, 2014a. *Plan de Prévention de Risques littoraux : Bessin & Dives-Orne. Phase 1 : Analyse préalable des sites*. Rapport I/RA/12107/13.197/MCO v3.0
- [2] Alp'Géorisques & IMDC, 2014b. *Plan de Prévention de Risques littoraux : Bessin & Dives-Orne. Phase 2 : Statistique*
- [3] Alp'Géorisques & IMDC, 2015a. *Plan de Prévention de Risques littoraux : Rapport de modélisation n°1 : houle, test de digue, test de dune, transport sédimentaire*. I/RA/12107/14.273 v1.0
- [4] Alp'Géorisques & IMDC, 2015. *Plan de Prévention de Risques littoraux : Cartographie des aléas littoraux – Submersion marine et érosion*. RA/12107/15.012 v1.0
- [5] EurOtop, 2007. *Wave Overtopping of Sea Defences and Related Structures: Assessment Manual*.
- [6] Ministère de l'Écologie, du Développement durable et de l'Énergie (DGPR/SRNH), mai 2014, *Guide méthodologique : Plan de prévention des risques littoraux*.
- [7] Petit-Berghem et al., 2010. *Les ensembles dunaires du Département du Calvados : présentation, typologie et proposition pour une conservation durable du milieu*. Y. Petit-Berghem, AS. David, AF. Gennevois, C. Fouetillou, Université de Caen, Syndicat Mixte Calvados Littoral Espaces Naturels, octobre 2010.
- [8] Petit-Berghem, 2012. *Expertiser le territoire : contribution à une nouvelle typologie des dunes du Calvados*, M@ppemonde 108 (2012.4). URL : <http://mappemonde.mgm.fr/num36/articles/art12403.html>
- [9] SHOM – CETMEF, 2012. *Étude statistique des niveaux marins extrêmes des côtes de France*.

VIII. Annexes

Annexes I : Cartes du zonage réglementaires

Annexes II : Cartes des cotes de référence

Remarque. Les cartes sont établies à des échelles et sur des formats qui interdisent leur intégration dans cette note de présentation. La liste des annexes renvoie donc aux planches cartographiques hors-texte, jointe à cette note de présentation.

Les autres cartes disponibles sont :

- les cartes des aléas de submersion marine :
 - scénario de référence avec l'évènement d'occurrence centennal,
 - scénario de référence à échéance 100ans (intégrant le changement climatique),
 - scénario en l'absence d'ouvrages,
- les cartes des aléas du recul du trait de côte,
- les cartographies des aléas de migration dunaire,
- les cartographies des enjeux.

Elles sont en consultation libre sur le portail internet des services de l'État dans le Calvados à l'adresse suivante :
<http://www.calvados.gouv.fr/le-projet-de-plan-de-prevention-des-risques-a3509.html>